

С В І Т

ФІЗИКИ

№4
2001

науково-популярний журнал

**100 років
Нобелівській
премії**

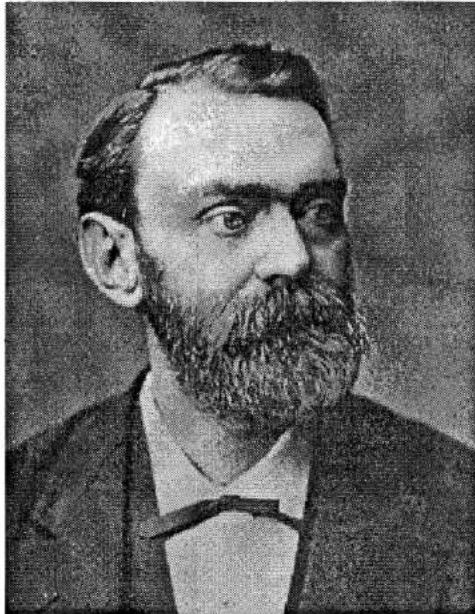


**Свобода для науки —
це як повітря для
живої істоти**

Анрі Пуанкаре

Robert B Laughlin
Horst L Störmer och Daniel C Tsui
för deras upptäckt av en ny form av
kvantvätska med fraktionellt laddade
excitationer

● **Освіта Америки
очима
українського
школяра**



Уже сто років 10 грудня вручають найпрестижнішу премію видатним ученим світу за досягнення в галузі фізики, хемії, медицини, літератури, за діяльність збереження миру.

Нобелівська премія широко відома не через велику грошову винагороду, а насамперед престижністю. Вона є найвищою оцінкою людського інтелекту. Про неї знають не тільки фахівці у певних галузях, а й всесвітня громадськість. На думку Нобелівських лауреатів зважають політичні діячі, керівники держав та інші організації. Геніальний заповіт Нобеля дав змогу людству високо оцінювати інтелектуальну працю людини. Хоча сьогодні можна ще раз зазначити, що винагорода, наприклад, за спортивні досягнення, чи деякі престижні гранти набагато більші.

Нині людство ще не готове так високо оцінювати розум окремих особистостей, які зробили величезний внесок у розвиток прогресу цього ж людства!

Альфред Нобель народився 21 жовтня 1833 року в Стокгольмі (Швеція) у сім'ї інженера. Він був четвер-

тою дитиною в сім'ї, мав слабе здоров'я, часто хворів. У юнацькі роки в нього склалися теплі добрі стосунки з мамою, які продовжувались багато років, він активно листувався з нею. Батько в пошуках розв'язання фінансових та виробничих проблем спочатку переїхав до Фінляндії, а пізніше до Санкт-Петербургу. Коли Альфредові виповнилось 9 років, сім'я переїхала до батька в Росію. Там Альфред займався з приватними вчителями. Хлопець був дуже працьовитим, таким він був усе життя.

Коли Альфредові Нобелю виповнилось 17 років, він вирушив у довгу подорож, відвідав Німеччину, Францію, Сполучені Штати Америки. Він займався хемією, а повернувшись до Санкт-Петербургу, почав працювати в компанії батька. Згодом компанія занепадала і батьки повернулись до Швеції. Увесь свій час А. Нобель витрачав на механічні та хемічні експерименти в маленькій лабораторії, яку батько обладнав на околиці міста. Він отримав три патенти на винаходи. Тоді як вибухову речовину використовували чорний порох, хоча вже було відомо, що нітрогліцерин – надзвичайно потужна вибухова речовина, однак дуже ризикована позаяк швидко випаровується. Альфред постійно шукав способи стабілізації нітрогліцерину. Йому несподівано спало на думку змішувати рідкий нітрогліцерин з хемічно інертним поруватим матеріалом. Змішані з нітрогліцерином такі матеріали можна виготовляти в формі брусків і вставляти у пробурені отвори. Запатентований 1867 року новий вибуховий матеріал назвали „динамітом, або безпечним вибуховим порошком Нобеля”.

Незважаючи на те, що від експериментів та випробувань гинули люди, Альфред Нобель переконував владу чи підприємців різних країн у ефективності застосування його вибухівки в мирних цілях. Використання нової вибухової речовини дало змогу здійснити фантастичні на той час проекти – прокладання Альпійського тунелю на Сен-Готардській залізниці, ліквідацію підводних скал у Гелл-Гейті (Нью-Йорк), прокладення Карінфського каналу в Греції тощо. Винаходи Нобеля знайшли використання у військових цілях. Це його гнітило, про що він неодноразово говорив: „Я б хотів придумати машину чи речовину, яка мала б таку силу, щоб будь-які війни були неможливі”.

Альфред Нобель 1966 року винайшов динаміт, мав підприємства і лабораторії майже в 20-х країнах світу, був автором понад 350 патентів.

Альфред Нобель був хеміком, експериментатором, підприємцем, одним з найбагатших людей свого часу. Він був освіченою людиною, мав широкий кругозір, володів французькою, німецькою, російською та англійською мовами. Любив літературу, захоплювався поезією, читав Шекспіра, Вальтера, Гюго, навіть сам написав декілька п'єс, віршів та романів. Альфред Нобель не був одружений. Він любив усамітнюватись, хоча життя заставляло його бути у вирі справ.

Помер Альфред Нобель у своєму будинку в Сан-Ремо (Італія) 10 грудня 1896 року, залишивши людству свій геніальний заповіт.

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 Шопя

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк
СП „Євросвіт”, наклад 1000 екз.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Сакаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 40 31 88, 40 31 89

у Києві 380 (044) 416 60 68

sf@ktf.franko.lviv.ua

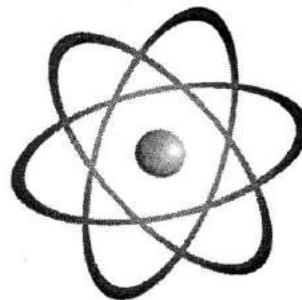
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

„...Все моє багатство має надійно зберігатися і має бути створений фонд, мета якого – щорічна нагорода грошовими призами тих, хто впродовж попереднього року зумів принести найбільшу користь людству. Призовий фонд має бути поділений на п'ять рівних частин: одна частина – особі, що здійснить найважливіше відкриття або винахід у галузі фізики, другу – особі, що здійснить найважливіше відкриття або винахід у галузі хімії, третю – особі, що здійснить найважливіше відкриття або винахід у галузі фізіології або медицини, четверту – особі, яка в ділянці літератури створить видатний ідеалістичний твір, п'яту – особі, що зробить найбільший внесок у зміцнення співдружності націй, у ліквідацію або зниження напруженості протидіючих озброєних сил, а також в організацію чи сприяння проведення конгресів миролюбних сил.

Нагороди з фізики та хімії має присуджувати Шведська королівська академія наук; нагороди з фізіології та медицини – Каролінський інститут у Стокгольмі; нагороди з літератури – Шведська академія у Стокгольмі; премію миру – комітет із п'яти членів, що вибере Норвезький парламент. На мою волю та на присудження нагород не має впливати національність, як і на суму винагороди не має впливати підданство претендента...”

(Із заповіту Альфреда Нобеля)

*Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”*



Передплатний індекс

22577

Передрук матеріалів дозволяється тільки з письмової згоди редакції та з обов'язковим посиланням на журнал „Світ фізики”

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища фізики

Біланюк Олекса. Частинки-невидимки
Шопа Ярослав. Зоряні інтерферометри

2. Фізики України

Голод Петро. Остап Парасюк

3. Актуальні проблеми...

Батюк Сергій. Освіта Америки очима українського школяра

4. Олімпіади, турніри ...

Умови задач XV Міжнародного турніру юних фізиків

5. Нобелівські лауреати

Шопа Галина. Нобелівській премії 100 років
Гальчинський Олександр. На шляху до абсолютного нуля температур

6. Олімпіади, турніри ...

Орлянський Олег. Три півкола і три параболи

7. Шпаргалка абітурієнта

Козловська Ірина. Мандрівка в минуле: сторінки історії електростатики

3

12

21

24

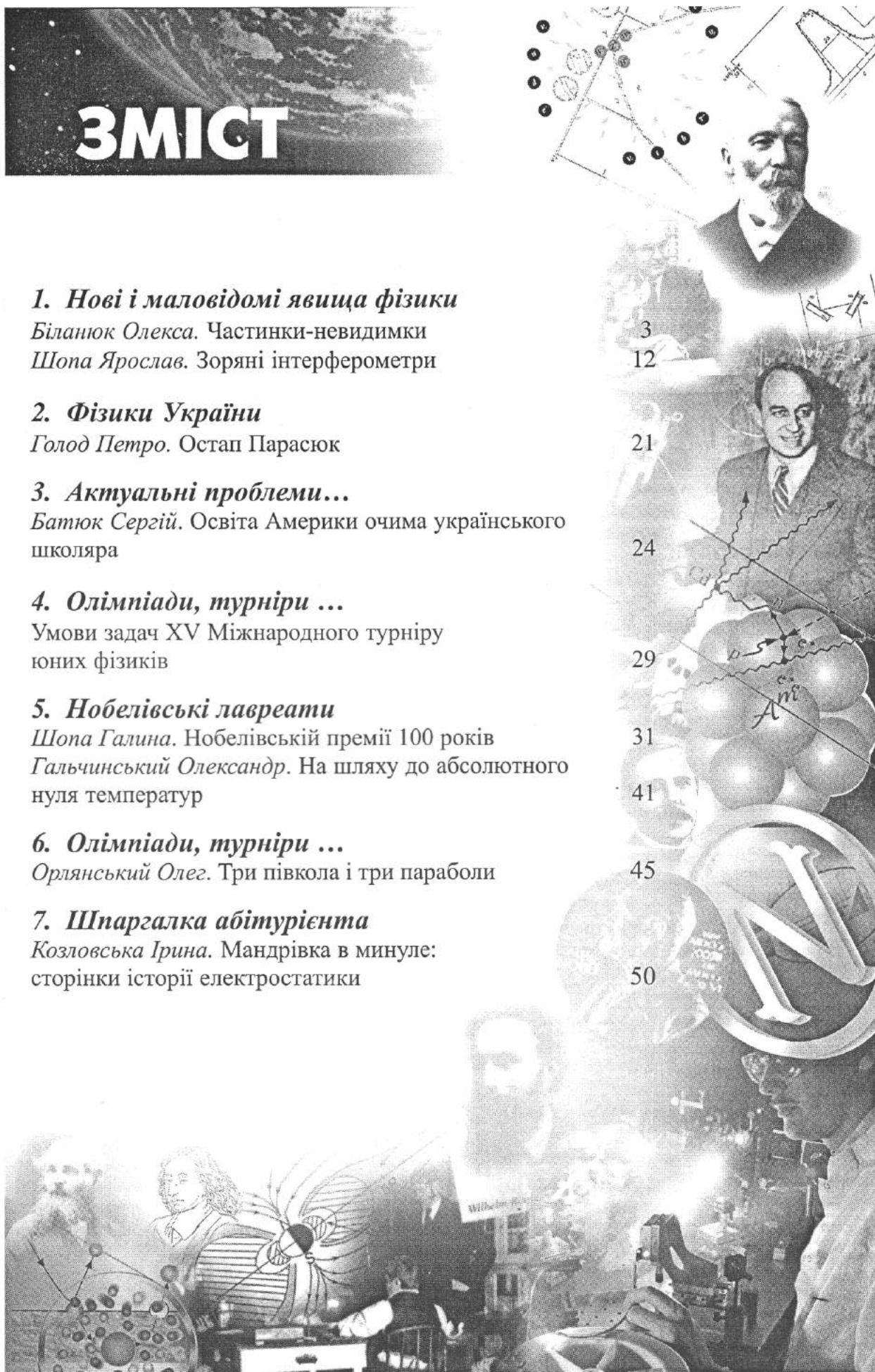
29

31

41

45

50





Частинки-невидимки

Олекса Біланюк

професор, США

Магнетні монополі, гравітони, тахіони, бозони Гігса, c -частинки, та ще ціла низка „екзотичних” об’єктів¹ – ось приклади частинок, існування яких передбачає теоретична фізика, та які їй досі не вдалося зареєструвати (вловити) фізікам-експериментаторам.

У минулому пошуки за передбаченими частинками часто увінчувалися успіхом, хоча шлях до їхнього відкриття звичайно був складним і затяжливим. У першій частині цієї статті ми переглянемо п’ять прикладів з минулого, що вказують, які труднощі дослідники переборювали, щоб досягти успіху. Вибір прикладів довільний – ідеться про відкриття нейтрона, позитрона, нейтріно, частинки Ω (омега), та „топ”-кварка. Чи не кожне із відкриттів відомих нам зараз елементарних частинок має свою специфіку і могло б бути прикладом. Однак вибраних п’ять випадків доволі чітко з’ясовують більшість аспектів проблеми.

У другій частині статті наведемо п’ять прикладів сучасних інтенсивних пошуків за досі не знайденими, але теоретично вірогідно передбаченими частинками. Зосередимось на пошуках магнетних монополів, гравітонів, тахіонів, бозонів Гігса, та c -частинок („щастинок”).

Приклади успішних пошуків

Нейтрон

На підставі досліджень над атомом гелію, новозеландський фізик Ернест Резерфорд (Ernest Rutherford of Nelson, 1871–1937) висунув 1920 року гіпотезу, що поряд із протоном мусить існувати ще нейтральна частинка тієї ж маси, як

протон. Він передбачив, що ця частинка вільно проходитиме крізь матерію, що її буде важко вловити, і „неможливо замкнути у щільній посудині”.

Десять років пізніше, 1930 року, німецькі фізики Вальтер Боте (Walter W.G. Bothe, 1891–1957) та його учень Герберт Бекер (Herbert Becker, 1911–1942) оголосили відкриття „містерійних, дуже проникливих променів”, та вони не пов’язали свого відкриття з гіпотезою Резерфорда. Подібно прогавили нагоду французькі фізики Фредерік та Ірене Жоліо-Кюрі (Frederic, 1900–1958, & Irene, 1897–1956, Joliot-Curie). Вони також відкрили „дуже проникливі промені” і дійшли висновку, що це високоенергійні промені гамма (γ). Та 1933-го року англійський фізик Джеймс Чадвік (James Chadwick, 1891–1974), що був добре обізнаний з передбаченням Резерфорда, правильно пояснив німецькі й французькі дані, підтвердив їх власними дослідженнями, та чітко з’ясував, що йдеться про нейтрони. За це 1935 року він отримав Нобелівську премію. Приклади втрачених можливостей німецьких і французьких фізиків відкрити нейтрон свідчать про те, що дослідникам корисно орієнтуватися і в суміжних галузях фізики, а не лише бути спеціалістами, хоча і знаменитими, у своїй вузькій ділянці.

Позитрон і античастинки

Прикладом, як дивовижність теорії знеохочує фізиків ставитися серйозно до її передбачень, є історія відкриття позитрона, античастинки електрона.

1928 року, англійський фізик Пол Дірак (Paul Adrien Maurice Dirac, 1892–1984) удосконалив квантову теорію, поширивши її у релятивістську сферу. Його рівняння електрона напрочуд точно з’ясували найтонші подробиці структури атома. Загадковим залишався лише факт, що рівняння давало подвійні розв’язки. Одна відносилась до електрона, а інша спершу здивувала самого Дірака, бо вона не відповідала жодній відомій частинці. Вона описувала частинку, що була немов дзеркальною відбиткою електрона, лише позитивно зарядженою.

¹Приклади таких „екзотичних” об’єктів подаються тут англійською, бо для деяких з них українських назв ще не узгоджено. Описи більшості їх можна знайти у мережі Інтернет: arions, axions, bariobosons, charginos, dilatons, dyons, electrinos, ether(!), familos, gauginos, glueballs, Goldstone bosons, hybrid mesons, instantons, lepto-gluons, majorons, mirror matter, neutralinos, pomerons, quintessence, quantum foam, strageletts, wimps, wimpzillas.



Таку частинку зовсім випадково, не знаючи про працю Дірака, спостеріг 1932 року американський дослідник космічних променів Карл Андерсон (Carl David Anderson, 1905-1991). Він назвав її позитроном. Швидко після того Дірак довів, що цей позитрон повністю задовольняє усі вимоги „зайвих” розв’язків його рівняння. З бігом часу було пересвідчено, що для кожної частинки існує близнюк – античастинка.

У своїх спогадах Андерсон акцентує, як важливо для фізиків не лише володіти широким образом фізики, а й теж не дозволити своїм особистим упередженням відкидати незвичні передбачення.

Оскільки теорія Дірака містила такі „нефізичні” поняття, як негативна маса, негативна енергія, пробіг частинки з майбутнього в минуле тощо, більшість „серйозних” фізиків вважала її надто езотеричною, щоб вона могла бути корисною. Андерсон каже, що дослідник, який сприйняв би теорію Дірака без упередження, міг відкрити позитрона „за одне пополудня”, бо Дірак дав точний дороговказ до отримання пар електрона-позитрона за допомогою гамма-променів.

Подібно як це було з нейтроном, англійському фізику Патріку Блекету (Patrick M. S. Blacket, 1897–1974), російському фізику Дмитру Скобельцину (1892 р.н.), та французькому подружжю Жоліо–Кюрі, позитрон просмикнувся крізь пальці без того, щоб вони його впізнали. Причиною була знову ж таки необізнаність із тодішніми широкими обряями фізики, можливо, спричинена нехиттю до дивовижних передбачень.

Невтріно

Чи не найбільш недоторканим із усіх фізичних законів є принцип збереження енергії. Та в 1920–1930 роках навіть цей закон потрапив під сумнів. При помірах енергії частинок, що походять з розпаду ядра „А” на ядро „В”+ β (наприклад, $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S} + \beta$), очікувалося, що усі бета-частинки матимуть точно визначену енергію, зумовлену різницею маси між „А” і („В”+ β). Та вже 1914-го року Джеймс Чадвік та інші дослідники після нього, показали, що при бета-розпаді енергія, ймовірно, не зберігається. Вихід із цієї заповки запропонував 1930-го року австрійський фізик Вольфганг Паулі (Wolfgang Pauli, 1900–1958). У листі до своїх „радіоактивних друзів” він при-

пустив, що під час бета-розпаду поряд з електроном з’являється ще додаткова нейтральна частинка зі спіном 1/2. Він показав, що така частинка забезпечила б не лише збереження енергії, а й лінійного та кутового імпульсів. Він назвав цю частинку нейтроном. Коли 1933-го року один студент запитав Енріко Фермі (Enrico Fermi, 1901–1954), чи нейтрон Чадвіка і нейтрон Паулі одне і те саме, Фермі пояснив: „No, il neutrone di Pauli è molto più piccolo. Сіò è un neutrino” („Ні, нейтрон Паулі набагато менший. Це таке собі нейтронячко”). Відтоді італійська здрібніла форма *невтріно* так і прижилась.

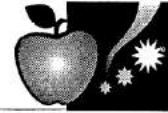
Все ж таки, багато фізиків скептично задивлялись на гіпотезу Паулі. Тим, хто отримав нові, переконливі експериментальні дані, що підтверджували правдоподібність існування невтріно, був наш земляк, харківський фізик Олександр Лейпунський (1903–1972). 1935 року, коли на запрошення Резерфорда він перебував в Англії, Лейпунський перевів точні виміри енергії відбою ядер у бета-розпаді. З’ясувалося, що кінетична енергія ядер ^{32}S після розпаду $^{32}\text{P} \rightarrow ^{32}\text{S} + \beta$ набагато вища від тієї, яка була б зумовлена лише відбоєм від частинки бета (електрона). Це вказувало на те, що ядро відштовхується не лише від електрона, а й від гіпотетичного невтріно.

На безпосередній доказ існування невтріно довелось чекати до 1953-го року, коли Клайд Кован (Clyde Lorrain Cowan) та Фредерік Рейнс (Frederic Reines) здійснили ядерну реакцію, в якій невтріно (у цьому випадку – антиневтріно) перетворює протон на нейтрон і позитрон: $p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+$. Джерелом гіпотетичних невтріно був ядерний реактор.

Оцей остаточний доказ існування невтріно завершив довгий процес вагань, натяків і пошуків. Та вже багато років до незаперечної ідентифікації невтріно, взаємне доповнення і узгодження попередніх результатів переконало фізиків, що невтріно існує, та що його відкриють скоріше чи пізніше.

Ω^- (Омега мінус)

Коли під кінець 1950-х років кількість спостережених у космічних променях і у прискорювачах елементарних частинок почала значно збільшуватися (58 баріонів, 72 мезонів – з їхніми античастинками це 260!), фізики завагалися чи ці частин-



ки справді фундаментальні, чи може вони складені з меншої кількості елементарніших частинок. На початку 1960-х стало зрозуміло, що математична група симетрії SU-3 напрочуд точно відповідає спостереженій впорядкованості відомих тоді баріонів і мезонів. Що більше, подібно як це було в хемії з таблицею Менделєєва (Дмитро Іванович Менделєєв, 1834–1907), цей підхід підказував, які частинки ще не відкриті та завбачав їхні прикмети. Цю нову групову класифікацію запропонували незалежно Миррі Гелл-Манн (Murray Gel-Mann, 1929 р. н.) і Джордж Цвейг (George Zweig, 1937 р. н.) з Каліфорнійського Інституту Технології („Caltech”) та Ювал Нейман (Yuval Ne’eman, 1925 р. н.) з Імперіального Коледжу в Лондоні. На підставі цієї нової класифікації Гелл-Манн передбачив 1962-го року існування баріона Ω^- з масою 1680 MeV, спіном 1/2, електричним зарядом -1 , позитивною парністю, баріонним числом $+1$ і дивністю -3 . Існування такого баріона було доконечним, щоб остаточно підтвердити, що математична група SU-3 дійсно класифікує точно і повністю усі баріони і мезони.

Фізики з Рочестерського і Сиракузького університетів та Національної Лабораторії у Брукгеуейн (усі три у штаті Нью-Йорк), 1964-го року під орудою Ніколаса Саміуса (Nicholas Peter Samios, 1932 р. н.), відкрили у двометровій бульбашковій камері у Брукгейвен частинку, яку передбачив Гелл-Манн з усіма завбаченими прикметами. Це відкриття стало вирішальною подією, яка дала остаточний поштовх до визнання кварків, як справжніх фундаментальних частинок, з яких складені з усі гадрони, т. зн. протони, нейтрони, їхні важчі короткоживучі родичі – гіперони, та усі мезони.

„Топ”-кварк

Хоча кварки набули повноправного громадянства як основні складники матерії (протонів і нейтронів), вони залишаються справжніми „невидимками”. Ще ніколи не вдалося ізолювати окремого кварка, та й – згідно з поточною теорією – ніколи не вдасться. У спробі відірвати кварка від його двох партнерів у баріоні (наприклад у протоні), або від його антипартнера у мезоні, доводиться вкласти так багато енергії, що замість визволення кварка твориться нова пара кварк-антикварк.

Проте посередніми шляхами фізики незаперечно встановили дивні прикмети кварків. Їхній електричний заряд – дробовий: $+2/3$ або $-1/3$. Поряд із електричним зарядом, кварки володіють трьома родами т. зв. „кольорового” заряду: „червоним”, „зеленим” і „синім”². Носями сильної взаємодії між кольоровими зарядами є глюони, їх є вісім родів. Коли кварки творять баріон (наприклад, протон чи нейтрон), кожен із них має інший колір. У результаті усі баріони „безколірні”. „Безколірні” є також усі мезони – вони складаються з кварка і антикварка. (У мезоні один кварк посідає „антиколір” другого кварка, що робить мезон „безколірним”)

Крім кольору, кварки різняться своїми „смаками” (flavors)³, яких є шість. Класифікують кварк у три покоління (generations) – у кожному по два смаки. У першому поколінні маємо смаки „вгору” і „вниз” (up & down), у другому – „чарівний” і „дивний” (charmed & strange), а у третьому – „верх” і „низ” (top & bottom)⁴.

1977-го року вже були ідентифіковані кварки п’яти з передбачених шести смаків. Бракувало лише „верхнього” (top) кварка. Знайти його стало першочерговим завданням експериментальної фізики. Без нього завалилась би – немов вежа з карт, з якої забрано одну карту – ціла *Стандартна теорія*, на якій побудоване сучасне розуміння структури матерії.

Пошуки за топ-кварком розпочалися на Стенфордському лінійному прискорювачі у Каліфорнії, німецькому прискорювачі біля Гамбурга і 1980-го року при новому високоенергійному прискорювачі в Європейському центрі ядерних досліджень („CERN”) біля Женеви. Та хоч у прискорювачі „CERN” зіткнення протонів з антипротонами проходили при енергії майже 300 GeV, топ-кварка там не знайдено. Якщо взяти до уваги, що

²Назва „кольоровий заряд” не має нічого спільного із звичайним кольором. Три роди заряду сильної взаємодії американські фізики спершу назвали кольорами прапора США: „red, white, blue”. Та щоб не видатися шовіністами, вони замінили назви на „red, green, blue”.

³„Смак” (flavor) теж не має тут суто фізичного значення і ніяк не споріднений з поточним розумінням цього слова.

⁴Ідучи за прикладом поетичних назв „charmed” і „strange” („чарівний” і „дивний”), фізики з творчою уявою намагалися впровадити на місце прозаїчних назв „top” і „bottom” („верх” і „низ”) художні назви „truth” і „beauty” („правда” і „краса”). На жаль, перемогли фізики-зануди.



зудари насправді відбуваються не між протоном і антипротоном, а між трьома кварками протона з трьома кварками антипротона, то для творення пари топ-анти топ пересічно припадає лише 1/3 енергії зудару. Після восьми років марних пошуків топ-кварка, дослідники в Європейському центрі „СERN” дійшли висновку: якщо топ-кварк справді існує, то його маса буде хоча б на один порядок вищою від найважчого із відомих кварків – „боттом”-кварка, маса якого 4,5 ГеВ.

До пошуків за топ-кварком 1985-го року долучилася Національна лабораторія ім. Фермі („Fermi Lab”), біля Чикаго, в якій саме запущено найпотужніший досі прискорювач „TEVATRON”. У ньому зудари між протонами і антипротонами відбувалися при енергії 1 Тераелектронвольт (1 TeV = 1000 GeV = 10^{12} eV). При такій енергії дослідники очікували швидкого успіху. Та успіх прийшов аж після десяти років затьожної праці, в якій взяло участь понад 400 фізиків та ще більше інженерів і техніків, з понад 40 університетів і лабораторій усього світу. На цей пошук довелося видати понад півмільярда доларів.

Енергія кожного зудару породжувала безліч всяких частинок. Ішлося про те, щоб серед мільярдів слідів таких частинок знайти недвозначні позначки розпаду пари топ-анти топ. Споруджено велетенські й складні лічильники, дані з яких аналізували потужні суперкомп’ютери. Дослідження проводили паралельно дві незалежні групи. Вони були приготовані на всякі труднощі, пов’язані з навалом даних та неминучого фону. Та вони не були готові до того, що маса топ-кварка буде 175,6 ГеВ. Це ж дорівнює масі цілого атома золота! Повідомлення про ідентифікацію топ-кварка появилось у журналі PHYSICAL REVIEW LETTERS [1], [2]. Список авторів обох повідомлень налічує майже 1000 імен. Топ-кварка знайдено. Однак знахідка, що його маса така неймовірно велика, поставила перед фізиками нову низку питань про природу маси.

Приклади незавершених пошуків

Магнетний монопол

Відсутність магнетного заряду, аналогічного електричному, нівечить симетрію електромагнетних рівнянь Максвелла (James Clark Maxwell, 1831–1879), яка з магнетним зарядом була б досконалою. Ця відсутність турбувала фізиків від са-

мого початку і багато з них було і є впевненими, що магнетні заряди таки існують і будуть неминуче відкриті. Вже Анрі Пуанкаре (Henri Jules Poincaré, 1854–1912) 1896-го року, невдовзі після відкриття електрона 1895-го року Томсоном (Joseph John Thomson, 1856–1940), взявся до обчислення руху електрона у полі магнетного заряду [3].

У класичній теорії електромагнетизму немає обмежень, які унеможливили б існування магнетного монополя (магнетного заряду). Коли цим питанням зайнявся на початку 1930-х років Поль Дірак [4], він не знайшов обмежень і у квантовій електродинаміці. Навпаки, він довів, що існування елементарного електричного заряду, e_0 , зумовлює існування елементарного магнетного заряду, m_0 . Дірак також обчислив, що взаємодія між елементарними магнетними зарядами буде в 4692 разів сильнішою, ніж між двома електронами, розташованими на такій же відстані. Це означає, що магнетний заряд йонізував би атоми та розсіював би фотони набагато сильніше, ніж носії електричного заряду. Цим конкретним дороговказом активно користуються фізики у своїх експериментальних пошуках за монополями.

Новіші теорії вказують, що магнетні заряди існували у великих кількостях на ранніх стадіях розвитку Всесвіту. Якщо вони існують ще й досі, то вкрай рідко. Звичайно, на них діяло б магнетне поле і найкращим сховищем для них були б природні джерела магнетного поля, наприклад, поклади руди заліза.

Головно завдяки переконливим аргументам Дірака, пошуки за магнетними зарядами тривають неперервно, хоча ще марно. Однак як тільки-но з’являться нові можливі джерела монополів, пошуки розгортаються наново. Наприклад, зразки каменів, що їх привезли американські астронавти з Місяця 1969-го року, ґрунтовно досліджували у тому напрямі. Дірак також передбачив, що маса магнетного заряду буде дуже великою, тому створити їх у сучасних прискорювачах важко. Та все ж таки, поміж першими експериментами, які здійснюються на новозбудованих прискорювачах, неодмінно є пошуки слідів високоіонізуючих магнетних монополів. Найбільші надії фізики покладають на наявність монополів у космічних променях або на творення пар поль-антиполь високоенергійними космічними протонами, у яких енергія така висока, що про неї в лабораторіях поки



що фізики і мріяти не можуть. Глибоко під горою Гран Сассо в Апеннінах, в Італійській Національній Лабораторії, мережа детекторів, які містять 550 т рідкого скінтілятора, вже роками чекає на хоч одного космічного монополя.

Та брак успіху не знеохочує фізиків. Вони завзято вірять, що окремі магнетні заряди таки існують, лиш вони надзвичайно рідкісні й надто масивні. За останніми оцінками, на підставі ударів протонів із антипротонами у „TEVATRON-i” у „Фермі-Лаб” (США), маса монополя принаймні буде у 1600 разів більшою від маси протона, але, можливо, і багато, багато більшою.

Який же тоді сенс шукати за монополями у прискорювачах? Сенс полягає у тому, що з’явилася надія на можливість відкрити сліди монополя навіть на енергіях набагато нижчих від порогу енергії їхнього творення. Ще 1982-го року новосибірський фізик Ілля Гінзбург передбачив можливе існування квантового процесу, в якому ланка монополів, під час їхнього віртуального існування⁵, породжує своєрідні пари променів гамма, які однозначно засвідчили б про присутність, хоч коротку, магнетних монополів. Перші пошуки за таким механізмом Гінзбург провів у співпраці з американськими фізиками при „TEVATRON-i” та з європейськими фізиками при „LEP” (Large Electron-Positron Collider) у „CERN” біля Женеви у середині 1990-х років. Немає сумніву, що за такими слідами магнетного заряду розпочнуться нові пошуки, як 2006 року розпочне свою роботу новий надпотужний прискорювач „LHC” (Large Hadron Collider) у „CERN”.

Та навіть якщо і у „LHC” монополі своїх слідів не залишать, пошуки за ними триватимуть, як лиш з’явиться для цього якийсь новий шлях. Пошуки за магнетними зарядами фізики припинять аж тоді, коли їх знайдуть або коли в сукупності фізичних законів відкриють причину, яка забороняла б існування монополів.

Згідно із жартівливим „тоталітарним принципом” Гелл-Манна, „у фізиці відсутності без оправдання не толерується”.

⁵Згідно з квантовою невизначеністю Гайзенберга, $\Delta E \Delta t \leq \hbar$, частинки у квантовому вакуумі можуть отримати енергію ΔE і з’явитися з позитивною енергією без порушення закону збереження енергії, але лише впродовж часу, коротшого від Δt . Така миттєва поява називається *віртуальною*.

Гравітони

Рівняння Айнштайна для гравітаційного поля, якщо вони написані у т. зв. наближенні слабкого поля, зовсім подібні до рівнянь Максвела для електромагнетного поля. Ці рівняння передбачають існування гравітаційних хвиль, аналогічних електромагнетним. Гравітони, кванти гравітаційного поля, подібно як фотони (кванти електромагнетного поля), мали б нульову масу спокою, то значить вони мали б швидкість світла. Однак вони зроджуються у квадрупольних енергетичних переходах, внаслідок чого їхній спіні (внутрішній кутовий імпульс) мав би значення 2, на відміну від фотонів, у яких спіні 1.

Оскільки досі усі передбачення Айнштайнової теорії відносності вірогідно справджувалися, фізики впевнені, що гравітони існують і що їх неминуче відкриють. Попередні вказівки на те, що гравітони справді існують, вже є. Спостереження впродовж останніх 15 років системи пульсара PSR1913+16 і близької до нього зорі доводять, що обертова енергія цієї системи з часом зменшується. Розрахунки на підставі гіпотези про те, що це зменшення відбувається за рахунок випромінювання гравітонів, добре узгоджується з спостереженнями. Та хоча два американські астрофізики (Joseph Taylor & Russel Hulse) отримали за ці спостереження Нобелівську премію 1993 року, фізиків повністю це не задовольняє. Вони споруджують щораз більші й складніші прилади, щоб виявити дію гравітонів безпосередньо. Завдання нелегке, якщо взяти до уваги, що гравітаційна взаємодія незрівняно слабша від електромагнетної – у 10^{40} разів. Йдеться про спостереження викривлення простору, коли крізь нього проходить хвиля гравітонів. У перших спробах йшлося про вимірювання довжини гравітаційної антени. Така антена, наприклад, металевий стрижень завдовжки 10 м, зазнав би поздовжньої вібрації амплітудою 10^{-15} м, тобто на одну десяту розміру атома. Хоча такі виміри проводять вже понад 40 років, не дивно, що вони й досі не мають успіху (1976-го року такі дослідження виконували у підвалі Інституту теоретичної фізики НАН України у Феофанії біля Києва).

Надійніша фаза таких досліджень розпочалася 1978-го року, коли у Каліфонії було споруджено детектор гравітонів з інтерференцією лазерних променів. Із середини 1980-х років прототип такого інтерферометра, що використовував базу 40 м,



вже теоретично був спроможний виявити зміну віддалі L на величину $L \times 10^{-18}$. Подібні інтерферометри споруджено в Італії, Японії, Німеччині, Франції й Англії. Найпотужніша система інтерферометрів під назвою „LIGO” (Laser Interferometer Gravitational Observatory) калібрується і 2002 року почне працювати. Ця система складається з двох одиниць – одна у штаті Вашингтон, а друга – у штаті Луїзіана. Її відносна чутливість передбачається біля 10^{-22} . У різних стадіях виготовлення є подібні системи, напр. „VIRGO” (італо-французький проєкт), „GEO” (німецький проєкт) та „ТАМА” (японський проєкт). Низка інших систем ще у стадії проектування.

Найновіший підхід до відкриття гравітонів полягає у вимірювання зсуву Доплера у частотах мікрохвиль з космічних апаратів, який виникає внаслідок дії хвиль гравітонів. Навіть взявши до уваги вплив сонячного „вітру” і заломлення в атмосфері Землі, очікується, що цей підхід здатний виявити зміну відстані між Землею і Марсом на величину 8 мкм (8×10^{-6} м).

Підсумовуючи, можна сподіватись, що коли ця стаття вийде друком у журналі „Світ фізики”, з’являться перші недвозначні результати щодо існування гравітонів.

Тахіони

До початку 1960-х років серед фізиків панувало неоправдане уявлення, мовляв спеціальна теорія відносності Айнштейна не допускає існування частинок, які рухалися б швидше від світла. Та виявилось, що таке обмеження стосується лише частинок, які мають дійсну, не нульову власну масу (масу спокою). Такі частинки можна прискорювати довільно, але їхня швидкість ніколи не досягне швидкості світла у порожнечі. Однак теорія Айнштейна не заперечує можливості існування частинок, які завжди поширювалися б швидше від світла, у діапазоні від безмежності до швидкості світла, але ніколи не повільніше. Подібно до того, як фотони, що існують лише при швидкості світла. Теорія Айнштейна дала змогу передбачити прикмети таких гіпотетичних надсвітлових частинок, які отримали назву *тахіонів*. Детальніший опис цих прикмет можна знайти у посиланнях [6–9].

Гіпотеза про можливе існування тахіонів була настільки переконливою, що швидко після її пуб-

лікації [6] розпочались експериментальні пошуки за ними. Такі дослідження проведено в Інституті Нобеля у Стокгольмі (Швеція), у Принстонському, Колумбійському та Колорадському університетах (США), Національній лабораторії у Брукгейвен (США), в Інституті Тата (Індія), у мережах детекторів космічних променів в Австралії та Японії, в інших центрах досліджень. Фізико-експериментатори шукали за випромінюванням Черенкова, яке могло б породжуватися надсвітловими зарядами. У прискорювачах досліджено, чи кінематика деяких ядерних реакцій не вказує на присутність імпульсів, притаманних тахіонам. При спостереганні потоків космічних частинок звертали увагу на можливу присутність „прекурсорів” швидших від світла. На підставі гіпотези Ленарда Паркера [10], при пошуках за магнетними монополями досліджувалася можливість того, що магнетні заряди є тахіонами. Описи цих та інших ранніх розвідок за тахіонами можна знайти у посиланнях [11–13].

Оскільки спроби потрапити на сліди тахіонів виявилися марними, зацікавлення тахіонами притихло. Та воно розбудилось наново після того, як фізики Ален Чодос (Alan Chodos), Аві Гаузер (Avi I. Hauser) з університету Єйл (Yale University) і Ален Костелецьки (Alan Kostelecky) з Національної лабораторії Лос Аламос (США) опублікували спільно 1985-го року, у реферативному журналі „Physics Letters”, статтю „The Neutrino as a Tachyon” („Нейтрино як тахіон”) [14]. У цій статті вони вказують, що сьогодні ні теорія, ні експериментальні факти не заперечують можливості того, що нейтрино є тахіоном. Головним поштовхом до їхньої гіпотези є експериментальні вказівки на те, що квадрат маси нейтрино m_ν^2 ймовірно від’ємний. Це означає, що маса нейтрино уявна. Водночас уявна маса частинки неодмінно приділяє її у категорію тахіонів. У наших лабораторіях тахіони не володіють координатами спокою, так що їхня маса спостереженню не підлягає і може бути уявною. Енергія та імпульс тахіонів є дійсними і загалом доступні для спостережень [6, 7].

Тривалий час вважали, що власна маса нейтрино нульова, як у фотона. Цей висновок ґрунтувався на вимірюваннях спектрів електронів при радіоактивному бета-розпаді. Такі спектри дають змогу обчислити величину m_ν^2 для нейтрино. Ре-



зультати коливалися біля $m_\nu^2 \approx 0$. У міру того, як вимірювання ставали точнішими, для m_ν^2 почали з'являтися негативні величини [15,16]. Відтоді про можливу тахіонну природу нейтрино з'явилися десятки теоретичних і експериментальних праць (див. інтернет: *tachyon-neutrino-references*).

Незалежно від досліджень спектрів бета-розпаду, астрофізики звернули увагу на цікаве явище, пов'язане з вибухом 1987-го року наднової зорі SN1987A. Потік нейтрино з цього вибуху припав на день раніше від потоку гамма-променів. Але оскільки це єдиний випадок і йому можна знайти стандартні пояснення, це спостереження не можна вважати доказом того, що тахіонні нейтрино існують.

Надійнішими у цьому напрямі є дослідження т. зв. „коліна” у спектрі космічних протонів. Теорія передбачає, що при ультрависоких енергіях протонів стає можливою реакція поглинання протоном тахіонних антинейтрино $p + \bar{\nu} \rightarrow n + e^+$, [17]. Ще 1993-го року Ален Костелецьки звернув увагу на те, що спостережений згин у спектрі космічних променів можна пояснити розпадом протона на нейтрон, позитрон і тахіонне нейтрино. (У нашій системі відліку це те ж саме, що поглинання протоном антинейтрино). На підставі цієї гіпотези Роберт Ерліх (Robert Erlich) передбачив 1999-го року, що за енергій, які відповідають „колінові”, повинно існувати нагромадження нейтронів. Натяк на таке нагромадження Ерліх віднайшов у даних, що їх отримано 1983-го року з джерела „Cygnus X-3”. Знову ж таки, це єдине таке спостереження, без наступних підтверджень. Його теж не слід вважати безсумнівним.

Гіпотеза про тахіонну природу нейтрино намово оживила зацікавлення тахіонами. Вона принесла конкретні вказівки для її експериментального доведення. По-перше, треба удосконалити методику вимірювання спектрів бета-розпаду, щоб остаточно перевірити, чи квадрат маси нейтрино насправді від'ємний. По-друге, треба уточнити результати вимірювання „коліна” космічних променів і встановити, чи справді це „коліно” співіснує з накопиченням космічних нейтронів. Це важко зробити, оскільки вільні нейтрони короткоживучі. Розглядається також можливість прямих

вимірювань часу прольоту („time-of-flight”) нейтрино між їхньою появою і спостереженням. За сучасної техніки ці завдання непомірно важкі, але загалом їх можна розв'язати.

Існує ще один аргумент, що вказує на можливу дію тахіонів. Йдеться про т. зв. „квантову заплутаність” („quantum entanglement”). Теоретично передбачено й експериментально доведено, що два електрони чи два фотони, що утворюють квантову систему, залишаються пов'язаними навіть тоді, коли вони довільно віддалені один від одного. Хоча ця пов'язаність вже відома від 1950-го року, її все ж окреслюють як „примарну” („spooky”), бо теоретики ще не придумали для неї можливого механізму. Немає навіть натяку на відповідну теорію. Та все ж на думку спадають трансцендентні тахіони (тахіони з безмежною швидкістю). Ця думка чекає на теоретика, який зумів би втілити її у рамках нової фізики.

Навіть коли гіпотеза тахіонних нейтрино виявилась би неправильною, пошуки тахіонів продовжуватимуться, як тільки з'явиться якийсь новий для цього шлях. Як вже сказано, про магнетні заряди, ці частинки треба знайти, або відшукати „оправдання” їхньої відсутності.

Giggs

Вельми успішна стандартна теорія елементарних частинок вимагає для свого завершення ще однієї частинки. Ця частинка отримала назву *giggs*. Вона є квантом поля, яке заповнює увесь Всесвіт. Автором ідеї цього квантового поля є професор Пітер Гігс (Peter Higgs, University of Edinburgh, Scotland). Частинка гігс стала „камнем спотикання” стандартної теорії, бо від цієї частинки залежить розв'язання проблеми маси елементарних частинок. Вона є ахіллесовою п'ятою стандартної теорії. Тому фізики настирливо шукають за гігсом „удень зі свічкою”.

Теорія передбачає, що гігси дуже масивні, тому їхні пошуки розпочалися з 1990-х років, після того, як стали до ладу потужні прискорювачі „TEVATRON” у США і „LEP” у ЦЕРНі в Швейцарії. Перші натяки на існування гігса отримала група фізиків при „LEP” під керівництвом професора Кріс Тулі (Chris Tully, Princeton University) на початку вересня 2000-го року, коли енергію „LEP” доведено до максимуму – 209 ГеВ. Із восьми можливих, але не повністю переконливих



спостережень, вони констатували, що маса гігса становить 114,9 GeV. Та це було незадовго до того, як прискорювач „LEP” закрили, щоб на його місці збудувати набагато потужніший прискорювач „LHC” (Large Hadron Collider). Статистика даних із „LEP” стосовно гігса була недостатньою, щоб упевнено ствердити його існування. Тому професор Тулі та його група доклала чимало зусиль, щоб відкласти закриття „LEP”, але даремно. Праця над спорудженням „LHC” розпочалася згідно з планом. Енергія, яку цей новий прискорювач даватиме для творення частинок, досягне 14000 GeV (14 TeV). Запуск „LHC” передбачається на 2006-й рік. Першим його завданням буде спостереження гігса. Для цього вже споруджується детектор-гігант „ATLAS”. Проте фізики з Фермі-Лаб надіються, що це буде лише підтвердженням їхнього спостереження гігса. Прискорювач „TEVATRON” удосконалювався впродовж останніх чотирьох років і сьогодні його енергії достатньо, щоб відкрити гігса до запуску „LHC”.

Більшість фізиків упевнена, що „TEVATRON” або „LHC” невдовзі святкуватиме спостереження гігса. Однак є й такі, котрі перебувають за кулісами, щоб вийти на сцену тоді, коли гігса все ж не виявлять. Між ними Бернгард Гайш (Bernhard Haisch, California Institute of Physics and Astrophysics), Альфонсо Руеда (Alfonso Rueda, California State University) та Гарольд Путтоф (Harold Puthoff, Institute for Advanced Studies at Austin, Texas), які ще 1994-го року запропонували кардинально відмінне й оригінальне розв’язання проблеми маси елементарних частинок.

„Щастинки”

Чи не найголовнішим завданням сучасної теоретичної фізики є узгодження загальної теорії відносності з квантовою механікою. Як не дивно, але ці два наріжні камені всієї фізики не узгоджені між собою. На обрях фізики вже майоріє нова теорія, яка намагається об’єднати теорію тяжіння і квантовий формалізм т. зв. *Стандартної теорії* елементарних частинок в одне несуперечливе ціле. Її назва – *Теорія суперсиметрії*. У числі 1(5), 1999 журналу „Світ фізики” читач знайде дещо детальніший опис цієї теорії [19].

Основним передбаченням цієї суперсиметричної теорії є існування цілої нової сукупності частинок, подібних до відомих нам ферміонів

(складників нашого Всесвіту: кварків, електронів), та до бозонів (носіїв взаємодії між ферміонами: глюонів, W і Z, фотонів та гравітонів). Нашим ферміонам у цій гіпотетичній суперсиметричній сукупності відповідають *s-ферміони* (с-кварки і с-електрони), зі спіном 1 (як у наших бозонів); нашим бозонам відповідають бозіно (глуіно, віно, зіно і гравітіно), спін яких дорівнює 1/2 (як у наших ферміонів).

Теорія передбачає, що з нашим світом ці суперсиметричні с-частинки (дозвольмо собі назвати їх жаргівливо по-українськи „щастинки”) взаємодіють між собою лише гравітаційно. Найлегша із щастинок повинна бути стабільною. Наявність щастинок не лише підтвердила б всеохопну теорію суперсиметрії, а одночасно розв’язала б проблему т. зв. прихованої маси у Всесвіті – найбільшої загадки сучасної астрофізики. Якщо щастинки справді становлять космічну приховану масу, то можливо їх вдасться виявити у таких підземних лабораторіях космічних променів, як Лабораторія Гран Сассо в Італії, Лабораторія Бульві (Boulvy) в Англії, чи Лабораторія Соудан (Soudan) у штаті Мінесота (США).

Перші ознаки на можливе існування щастинок з’явилися у Національній Лабораторії у Брукгейвен (США) при вимірюванні магнетного диполя мюона (важкого короткоживучого електрона). Лише зважаючи на віртуальну присутність щастинок, можна узгодити експериментальні результати з теорією. Ці вимірювання продовжуються, бо поки що їхня статистика ще не задовільна. Але якщо нагромадження даних підтвердить попередні вимірювання, брукгейвенські фізики будуть готові не лише проголосити існування щастинок, але навіть заявити, що маса найлегшої щастинки не буде більшою від 400 GeV. Цей висновок був би надзвичайно бажаним з двох причин. По-перше, якщо найлегша щастинка виявилася б набагато масивнішою від 400 GeV, то не спрацювало б об’єднання усіх взаємодій: тяжіння, сильних, електромагнетних і слабких. А таке об’єднання є головною метою теорії суперсиметрії. По-друге, можна буде сподіватись, що такі „легкі” щастинки вдасться створити у нових прискорювачах. Пошуки щастинок вже розпочались у Фермі-Лаб при „TEVATRON”-і, хоч навіть після удосконалення, його енергії ще не вистачить для творення щастинок. Відкриття щастинок може стати пер-



шим епохальним досягненням прискорювача „LHC”, якщо його буде надійно запущено у „CERN” (Швейцарія) 2006 року.

Посилання

1. Abe F. et al. Phys. Rev. Lett. **74** (1995) 1626.
2. Abachi S. et al. Phys. Rev. Lett. **74** (1995) 1626.
3. Poincaré H. Comp. Rend. **122** (1896) 530.
4. Dirac P. A. M. Proc. Roy. Soc. London, **A133** (1931) 60.
5. Ginzburg I. F. and Panfil S. L. Sov. J. Nucl. Phys. **36** (1982) 850.
6. Bilaniuk O. M. P., Deshpande V. K., Sudarshan ECG, Am. J. Phys. (1962) **30** 718.
7. Bilaniuk O. M. and Sudarshan E. C. G., Physics Today **5**, 43, May 1969.
8. Recami E et al. Tachyons, Monopols..., North Holland, 1978.

9. Біланюк О. Світ фізики. 1997. № 2(2). С. 3–6.
10. Parker L, Phys.Rev. **188**, 2287-2292, 1969.
11. Kreisler M. Am. Scientist, **61**, 201-208, 1973.
12. Bilaniuk O. M. and Boccio R. J. La Recherche (Paris), **4(40)**, 1037–1046, 1973.
13. Bilaniuk O. M. and Boccio R. J. Sapere (Italia), **75(773)**, 6-16, 1974.
14. Chodos A, Hauser A.I., Kostelecky V. A. Phys. Lett. **150B**, 431-435, 1985.
15. Particle Data Group, Eur. Jhys. J. **C3**, 23, 1998.
16. Groom D. E., Eur. Jhys. J. **C3**, 312-313, 1998.
17. Ehrlich R., Phys.Lett. **B493**, 229-232, 2000.
18. Haisch B., Rueda A., Puthoff H., Phys. Rev. **A49**, 678-694, 1994.
19. Біланюк О. Світ фізики. 1999. 1(5). С. 3–7.
20. Новосядлий Б. Світ фізики. 1998. 2(4). С. 3–6.

До 75-річчя від дня народження професора Олекси Мирона Біланюка – американського вченого українського походження, президента Української Вільної Академії Наук, іноземного члена Національної академії наук України, дійсного члена Наукового товариства ім. Шевченка, члена редколегії журналу „Світ фізики”

Професор Олекса Біланюк – видатний учений-фізик. Йому належать досягнення світового рівня як у теоретичній, так і в експериментальній фізиці. Він обґрунтував можливості існування частинок, що рухаються швидше, ніж світло, названих тахіонами (перша публікація датована 1962 роком). Сьогодні цю гіпотезу активно залучають багато науковців до з’ясування властивостей і природи невтрино, а саме, перевіряється припущення, що так звані електронні невтрино якраз і є тахіонами. Експериментальні дослідження О. Біланюка, проведені у багатьох наукових центрах світу і стосуються ядерної фізики, присвячені вивченню механізмів ядерних реакцій і структури атомних ядер. Разом із співробітниками професор О. Біланюк дослідив одну із перших гіперядерних реакцій, у якій брали участь не лише нуклони в ядрах, а й кварки у нуклонах.



Олекса Біланюк у редакції журналу „Світ фізики” (м. Львів, 1 грудня 2001 року)

Редакція журналу „Світ фізики” вітає професора Олексу Біланюка з його 75-річчям. Бажаємо Вам, шановний ювіляре, міцного здоров’я, творчої наснаги та успіхів у науковій роботі.



Зоряні інтерферометри

Ярослав Шона,

канд. фіз.-мат. наук,

Львівський національний університет імені Івана Франка

Наприкінці минулого сторіччя фізики подарували світові низку чудових відкриттів та нових експериментів, які безпосередньо пов'язані з оптикою: квантова телепортація, сповільнення швидкості світла до десятків м/с та навіть його зупинка, винайдення і впровадження методів активної та адаптивної оптики, генерація надкоротких світлових імпульсів ($\sim 10^{-15}$ с). Тераера – досягнення швидкостей передачі та опрацювання інформації на межі 10^{12} біт/с із густиною запису близько 10^{12} біт/см² – також має настати головню завдяки оптоелектроніці. Впродовж найближчого десятиріччя вчені планують розпочати якісно нові програми пошуку оптичними методами ознак життя в позасонячних планетних системах. Зоряні інтерферометри – це складні оптикоелектронні системи, які започаткували астрономію високого розділення, і мають дати відповіді на важливі запитання астрофізики та астробіології, створити наукові й технологічні передумови для майбутніх поколінь дослідників Всесвіту, які напевно зіткнуться з проблемами, що перебувають поза межами нашої уяви.

1. Активна й адаптивна оптика

Для оптичних систем, які утворюють зображення, найважливішим критерієм якості вважається розділення, здатність приладу зображати окремо дві сусідні точки об'єкта. За законами геометричної оптики кожна таку точку слід зобразити точкою з нульовим діаметром. Однак унаслідок дифракції світла на оправі об'єктива вона завжди матиме вигляд диска скінченного розміру. Якщо два таких диски перекриваються, наявність двох джерел світла розпізнати важко. Це стосується і телескопів, хоча їхні діаметри вимірюються метрами, і кути дифракції світла на таких отворах дуже малі. З теорії дифракції відомо, що залежність амплітуди A світлової хвилі з довжиною λ від кута дифракції θ за щілиною з шириною D дорівнює:

$$A(\theta) = A_0 \frac{\sin \pi \theta D / \lambda}{\pi \theta D / \lambda}, \quad (1)$$

де A_0 – амплітуда центрального максимуму. Вимірювана інтенсивність I є квадратом модуля від амплітуди $I(\theta) = |A|^2$. Однак для двомірної круглої апертури телескопа ця рівність записується дещо інакше:

$$I_{\text{тел}}(\theta) = I_0 \left[\frac{2J_1(\pi \theta D / \lambda)}{\pi \theta D / \lambda} \right]^2, \quad (2)$$

де I_0 – інтенсивність головного максимуму, $J_1(x)$ – функція Бесселя першого порядку, яка подібна до загасаючої функції $\sin(x)$. Перший мінімум інтенсивності в умові $I_{\text{тел}}(\theta_{\text{тел}}) = 0$ досягається якщо $x = 1,22\pi$, тобто $\theta_{\text{тел}} = 1,22\lambda/D$ (рис. 1). За критерієм розділення Релєя два точкові об'єкти, наприклад, далекі зорі, розрізнятимуться як окремі лише тоді, коли кутова віддаль між ними перевищуватиме значення $\theta_{\text{тел}}$.

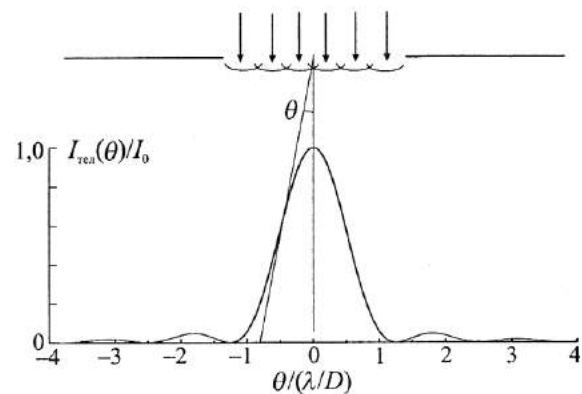


Рис. 1. Кутовий розподіл інтенсивностей від далекого точкового джерела світла в телескопі з діаметром D

Неозброєним оком ($D = 7$ мм) розрізняють предмети з кутовими розмірами одна кутова хвилина ($1'$). З найбільшим наближенням до Землі



таких розмірів набуває Венера. Тоді її можна спостерігати як диск, а не як точку. Найбільші супутники Юпітера мають кутові розміри майже $1''$, це відповідає роздільності телескопа діаметром 15 см. Збільшення діаметра дзеркал телескопів лише теоретично підвищує їхнє роздільня (рис. 2). Будуючи щораз більші телескопи, астрономи не досягали кращого роздільня. На заваді стояла турбулентна атмосфера, рухи повітряних мас, які змінюють властивості світлових променів і не дають змоги одержати чітких зображень. Ситуація нагадує спроби розгледіти предмети на дні озера, поверхня якого збурена сильним вітром. Однак великі телескопи потрібні, оскільки можуть реєструвати дуже слабкі об'єкти і зменшувати часи експозиції, що стає вирішальним для реалізації нових методів спостереження. Крім того, їх розташовують високо в горах, зменшуючи вплив атмосферних спотворень.

Космічний телескоп ім. Габбла (Hubble Space Telescope, чи скорочено HST) перебуває на орбіті Землі, поза межами атмосфери, тому дає знімки найкращої якості, однак це дуже дорогий прилад.

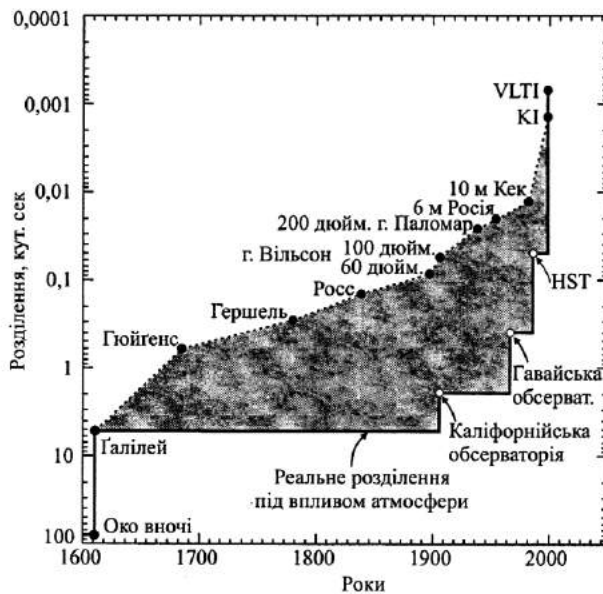


Рис. 2. Порівняння роздільності оптичних телескопів. Зміст позначень KI, VLTI, HST подано в тексті

Нові покоління наземних телескопів, використовуючи методи активної та адаптивної оптики, підвищують кутове роздільня до теоретичної межі. Для цього їхні дзеркала виготовляють гнучкими і порівняно тонкими. Наприклад, головне 8,2-

метрове дзеркало кожного з чотирьох телескопів Європейської південної обсерваторії (European Southern Observatory, ESO) має товщину лише 175 мм, але підтримується 150-ма осьовими та 64-ма периферійними гідравлічними комп'ютерно керованими циліндрами.

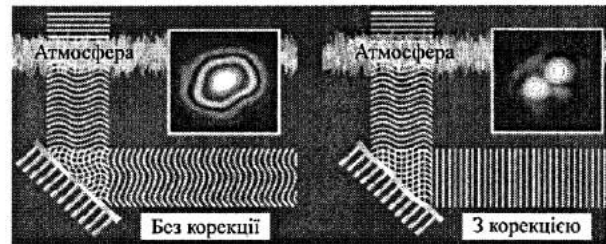


Рис. 3. У системах з адаптивною оптикою швидкі сенсори хвильового фронту впродовж однієї секунди сотні разів вимірюють турбулентності атмосфери використовуючи як пробне джерело світла яскраву зорю. Сптворені світлові фронти від астрономічних об'єктів з такою ж швидкістю коректують деформівні дзеркала і зображення стають значно досконалішими

Активна оптика телескопів останнього покоління призначена для усунення оптичних помилок – компенсації статичних похибок виготовлення чи регулярних повільно змінних деформацій, які виникають при повертанні величезних (масою понад 20 т) дзеркал упродовж спостереження. Для цього до головного дзеркала прикладають контрольовані механічні зусилля, а менші вторинні дзеркала пересувають. Корекція швидких абераций хвильового фронту з частотою декілька десятків Гц виконується пристроями адаптивної оптики – керованими від комп'ютерів невеликими гнучкими дзеркалами в оптичній схемі телескопа (рис. 3). Для розрахунку потрібної форми гнучкого дзеркала використовуються пробні джерела – розташовані достатньо близько від астрономічного об'єкта спостереження (типово $\sim 1'$ для інфрачервоної області спектра і $\sim 15''$ для видимого світла) яскраві зорі. Таких можливостей порівняно небагато, і вони не дають змоги реєструвати довільний об'єкт на небесній сфері. Крім того, якісні поправки до зображень можливі, якщо створити тримірну карту турбулентної атмосфери, а для цього у різних напрямках має бути кілька джерел. Астрономи планують використовувати



„штучні зорі”: короткі лазерні імпульси з довжиною хвилі 589 нм збуджуватимуть тонкі шари натрію в атмосфері на висоті 95 км, далі зворотне резонансне розсіювання реєструватиметься сенсорами хвильових фронтів.

Ефективність системи з адаптивною оптикою типово оцінюється відношенням піку інтенсивності точкового джерела реальної та ідеальної оптичної системи, яке не перевищує 40–60 % навіть з використанням штучних лазерних зір. Оскільки світло від астрономічних об'єктів проходить крізь атмосферу тільки раз, а лазерне – двічі – до натрієвого шару і назад, умови експерименту ускладнюються. Проте вже сьогодні телескопи з адаптивною оптикою вражають своїми характеристиками (рис. 4).

Типова система контролю за адаптивною оптикою використовує спеціальний комп'ютер, який на підставі вимірювань хвильового фронту розраховує силу, яку треба застосувати до кожного з 250 п'єзоелектричних елементів (вони змінюють розміри при дії електричного поля). Реакція має бути досить швидкою (від 0,5 до 1 мс), оскільки зміни турбулентностей атмосфери також швидкі. Нова томографічна техніка шукатиме поправки, пов'язані з турбулентностями на різних висотах і використовуватиме для корекції зображень одразу три гнучкі дзеркала в оптичній схемі телескопа. Вже до 2004 року астрономи з обсерваторії Джемінай планують одержувати знімки за якістю не гірші від тих, що стануть доступними космічному телескопові наступного покоління NGST (Next Generation Space Telescope) після 2008 року (рис. 5). Сьогодні ж астрономи з ESO одержують кращі за якістю зображення від тих, що дає HST.

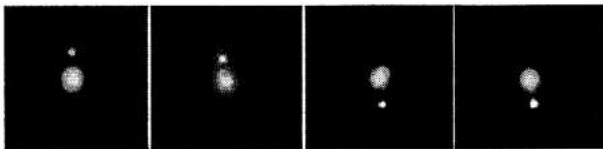


Рис. 4. Інфрачервоні фотографії Плутона та його супутника Харона одержані на телескопі Джемінай (Gemini) із застосуванням адаптивної оптики. Досягнутого тут кутового розділення $0,08''$ достатньо для окремого спостереження двох фар автомобіля з віддалі 3000 км

Принципи адаптивної оптики не вдалося б реалізувати без нових детекторів оптичного випромінювання – приладів із зарядовим зв'язком (Charge Coupled Device, або скорочено CCD). Завдяки саме їхньому винаходу з'явилася циф-

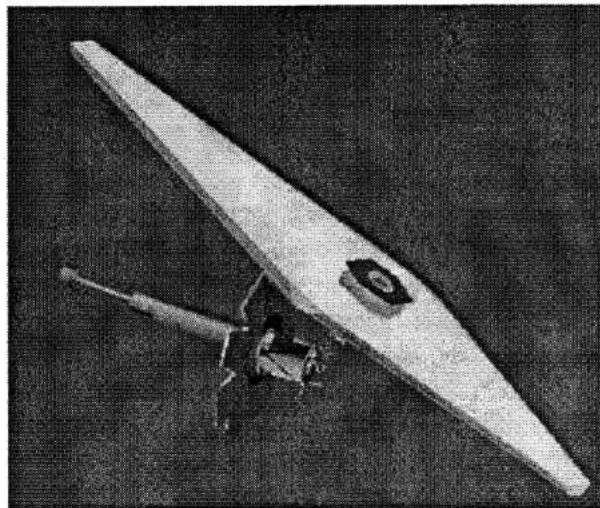


Рис. 5. Проект космічного телескопа нового покоління (NGST). Ромбоподібна конструкція – тепловий екран для захисту головного восьмиметрового дзеркала від дії прямого сонячного світла

рова фотографія, компактні відеокамери, сканери. Впродовж найближчого десятиріччя будуватимуться ще більші наземні телескопи діаметром 30–50 м. Вони вимагатимуть великої кількості лазерних зір, сенсорів хвильових фронтів та деформівних дзеркал для атмосферної томографії й багатоповірневої адаптивної оптики. Тому сьогодні астрономи інтенсивно працюють над удосконаленням відповідної апаратури і методик її застосування в земних умовах.

2. Інтерферометри з великою базою

Природні межі розділення оптичних телескопів можна значно розсунути за допомогою інтерферометрів. Уже понад півстоліття застосовується інтерферометрія радіохвиль. Одержані детальні карти радіовипромінювання далеких галактик і квазарів. Та лише впродовж останніх 15 років стала доступною оптична інтерферометрія інфрачервоного та видимого діапазонів. Наземними інтерферометрами спостерігаються і реєструються небесні об'єкти з кутовим розділенням у сто разів більшим від розділення Космічного телес-



копа ім. Габбла. Оптична інтерферометрія перестала бути лише цікавим технічним витвором. Понад 20 інтерферометрів уже працюють для потреб астрономії. Найближчим часом стануть до ладу нові, ще досконаліші прилади. Отже, техніка, яка спочатку планувалася для військових застосувань – точного наведення на цілі потужних лазерних пучків крізь шари турбулентної атмосфери – стала служити науці.

У найпростішій схемі інтерферометра дві однакові апертури діаметром D кожна перебувають на віддалі B одна від одної. Суперпозиція дифракційно обмежених зображень з рис. 1 дає інтерференційну картину (рис. 6), причому кутовий розподіл інтенсивностей у ній

$$I_{\text{інт}}(\theta) = 2I_{\text{тел}}(\theta)[1 + \cos(2\pi\theta B/\lambda)]. \quad (3)$$

Перший мінімум тут спостерігається вже, якщо $\theta_{\text{інт}} = \lambda/2B$ – це межа кутового розділення інтерферометра. Дві однакові зорі, що спостерігаються під кутом $\theta_{\text{дв}} \ll \theta_{\text{тел}}$, даватимуть інший розподіл інтенсивностей

$$I_{\text{інт}}(\theta) = 4I_{\text{тел}}(\theta)[1 + V_{\text{дв}} \cos(2\pi\theta B/\lambda)]. \quad (4)$$

Тут інтерференційні смуги з рівняння (3) промодульовані з коефіцієнтом (контрастом) $V_{\text{дв}} = \cos(\pi\theta_{\text{дв}} B/\lambda)$, який дорівнює нулеві (смуги зникають) за умови $\theta_{\text{дв}} = \lambda/2B$. За цим критерієм й визначається кутова віддаль між компонентами подвійної зорі. Так само розраховується кутовий діаметр окремого об'єкта θ_0 . Коефіцієнт модуляції смуг при спостереженні однорідного диска

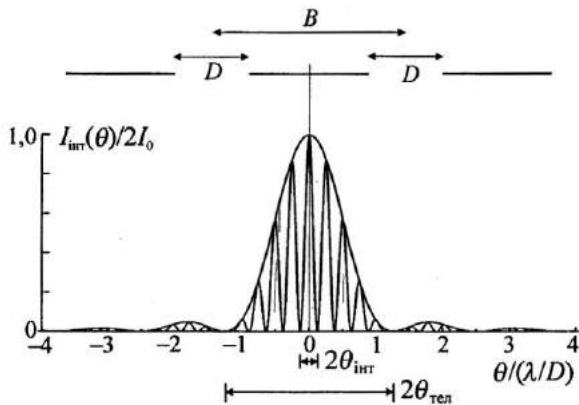


Рис. 6. Інтерференційні смуги від двох однакових апертур

$$V_0 = \frac{2J_1(\pi B\theta_0/\lambda)}{\pi B\theta_0/\lambda} \quad (5)$$

і стає нульовим, якщо $2B\theta_0 = 1,22\lambda$. Отже, якщо довжина бази B зростає, то згідно з (5) контраст зменшується (рис. 7), причому швидше для зір з більшим кутовим розміром θ_0 .

Дебют інтерферометрії як засобу розширення меж існуючих інструментів відбувся ще 1919 ро-

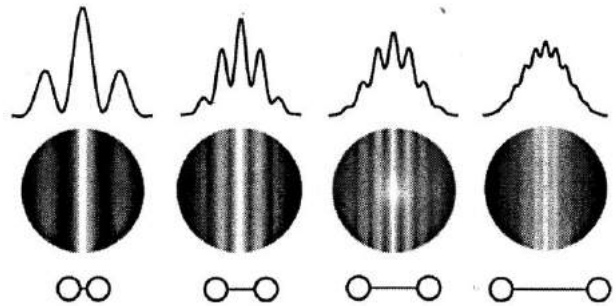


Рис. 7. Зміни інтерференційних смуг від окремої зорі при збільшенні бази інтерферометра. Ліворуч – для малої бази, праворуч – картина смуг з дуже малим контрастом, далі смуги зникають

ку, коли А. Майкельсон (Albert Michelson) уперше використав найбільший тодішній 2,5-метровий телескоп для визначення діаметра зір. Детальний опис його експерименту можна знайти в багатьох студентських підручниках. Майкельсон змонтував шестиметрову балку з двома дзеркалами на краях, збільшивши в такий спосіб ефективну базу B , водночас як максимальна база на телескопі B_0 дорівнювала 1,14 м. У такому випадку залежність інтенсивності від кута θ фокальній площині телескопа описується співвідношенням:

$$I_{\text{інт}}(\theta) = 2I_{\text{тел}}(\theta)[1 + V_0 \cos(2\pi\theta B_0/\lambda)], \quad (6)$$

де B_0 визначає модуляцію функції $I_{\text{тел}}$ інтерференційними смугами з кутовою шириною $\theta_{\text{інт}} = \lambda/2B_0$, а контраст залежить від кутових розмірів зорі θ_0 так само як і в (5). Зафіксувавши зовнішню базу B , за якої інтерференційні смуги зникали, Майкельсон успішно виміряв діаметр Бетельгейзе – яскравого червоного велетня у сузір'ї Оріона. Кутовий розмір Бетельгейзе найбільший серед усіх зір і становить 0,047". Однак діаметр більшості з них мало відрізняється від ді-



метра Сонця. З віддалі, найближчої до нас α -Кентавра, сонячний диск було б видно під кутом лише $0,007''$ і перше зникнення смуг спостерігалося б для бази $B = 20$ м. А для вимірювання діаметра малих значно віддаленіших зір потрібні великі бази – понад 200 м.

На відміну від зоряного інтерферометра Майкельсона, сучасна зоряна інтерферометрія ґрунтується на сумуванні двох ідентичних оптичних сигналів від незалежних телескопів, для одержання інформації, яка недоступна при роботі кожного з них поодиноці. Модель двоапертурного інтерферометра зображена на рис. 8. Вирівнювання оптичних шляхів двох світлових пучків, що досягається лініями затримки, є неодмінною умовою функціонування інтерферометра, оскільки від некогерентного білого світла смуги спостерігаються лише за нульової різниці ходу.

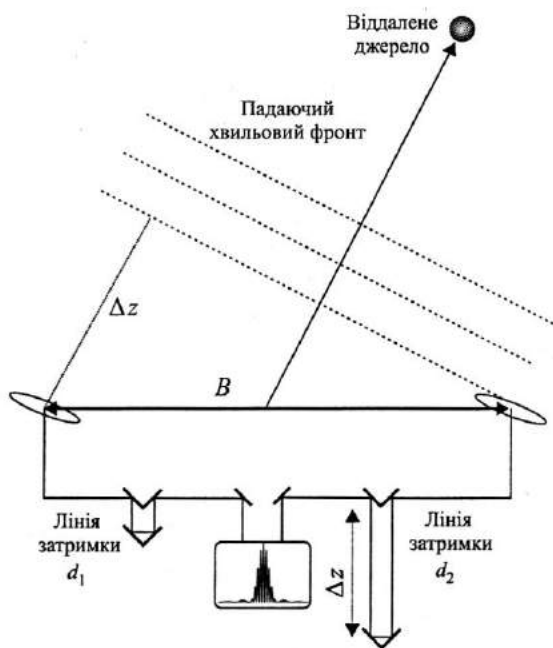


Рис. 8. Модель інтерферометра з двома однаковими телескопами. Різниця ходу $\Delta z = d_2 - d_1$ між двома світловими пучками залежить від напрямку спостереження і компенсується двома лініями затримки

Теоретично кутове розділення інтерферометра дорівнює розділенню одного телескопа з діаметром дзеркала B . Структура смуг та їхня зміна при взаємному переміщенні телескопів дає змогу відтворити просторову структуру об'єктів спостереження, тобто одержати їхні зображення висо-

кого розділення. Опрацювання сигналів з інтерферометрів виконується з застосуванням перетворення Фур'є. Кутовому розділенню λ/B у площині апертур відповідає просторова частота B/λ у площині просторових частот (Фур'є-площині). Фіксованій базі в площині апертур відповідає точка в Фур'є-площині. Оскільки кожне зображення володіє неперервним Фур'є-спектром, у якому присутні усі можливі просторові частоти, то для його повного відтворення системою телескопів треба забезпечити усі можливі бази, або всі можливі точки Фур'є-площини від нульової просторової частоти до максимальної D/λ . Тут D – це діаметр одноапертурного телескопа з аналогічним кутовим розділенням.

Обертання Землі упродовж восьми годин спостереження дає змогу використовувати зміну в просторовій орієнтації баз (рис. 9). Нові інтерферометри складаються з більше, ніж двох телескопів, які, крім того, можна пересувати один відносно іншого. Інтерферометр Європейської південної обсерваторії (Very Large Telescope Interferometer, VLTI) складатиметься з чотирьох головних 8,2-метрових телескопів та трьох допоміжних пересувних діаметром 1,8 м. Лише чотири великі телескопи забезпечуватимуть шість фіксо-

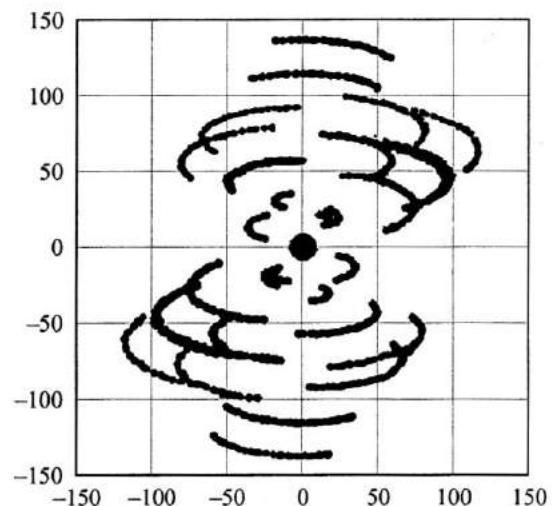


Рис. 9. Просторові частоти (для кращого сприйняття вони тут подані у м, тобто $\lambda \cdot B/\lambda$), які доступні упродовж одного восьмигодинного сеансу спостереження на телескопах ім. Кека. Система забезпечує 15 різних апертур, розмір максимальної з них досягає 140 м



ваних баз. Згодом він має стати найдосконалішим за чутливістю та розділенням земним телескопом десятиріччя (див. рис. 2). Це підтверджують останні спостереження інтерференційних смуг на двох 8,2-метрових телескопах від зорі Ахернар (сузір'я Еридана) – найяскравішої у південній півкулі. Астрономи з ESO підраховали, що кутовий діаметр Ахернара дорівнює $0,00192'' \pm 0,00005''$. Монета 1 Євро (діаметром 23,55 мм) матиме такий кутовий розмір з віддалі 2500 км. Оскільки віддаль до цієї зорі добре відома – майже 145 світлових років, то діаметр Ахернара оцінюють 13 млн. км, тобто він у десять разів більший від діаметра Сонця.

Два телескопи ім. Кека на одному з Гавайських островів (рис. 10) перебувають на віддалі 85 метрів, забезпечуючи кутове розділення $0,005''$ для довжини хвилі 2,2 мкм і $0,003''$ для 1 мкм.

Якщо оптичні телескопи досліджують ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання гарячих зір та планет, то радіоастрономія вивчає холодний космос. Міліметрова астрономія (довжина хвиль майже 1 мм) дає змогу досліджувати перші галактики у Всесвіті та процеси

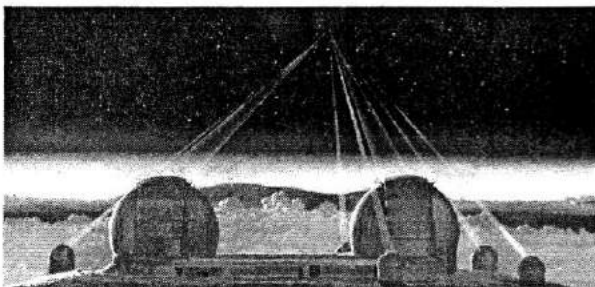


Рис. 10. Телескопи ім. Кека на горі Мауна Кеа. Крім головних десятиметрових телескопів, видно також менші телескопи, які потрібні для розширення смуги пропускання просторових частот і реконструкції зображень

формування зір і планетних систем. Одним з найбільших проєктів цього десятиріччя стане також Atacama Millimetre Array (ALMA) – масив 64- і 12-метрових параболічних антен для приймання електромагнетних хвиль з довжиною меншою від 0,3 мм (рис. 11). База відповідних радіоінтерферометрів досягатиме 10 км, а роздільна здатність $0,01''$, що майже відповідає розділенню VLTI та NGST в оптичному діапазоні.

Європейська південна обсерваторія планує побудову надвеликого стометрового наземного оптичного телескопа: Overwhelmingly Large Telescope (OWL), який даватиме розділення майже $0,001''$, тобто у 40 разів краще порівняно з HST, і матиме в тисячі разів вищу чутливість. За його допомогою можна буде досліджувати процеси формування перших галактик, вимірювати залежності фізичних та хемічних характеристик Все-

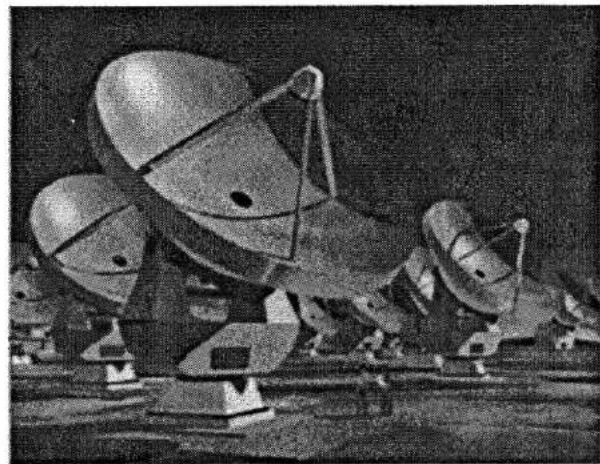


Рис. 11. Згідно з проєктом ALMA радіотелескопи сформують величезне антенне поле

світу від його віку. Передбачається, що дзеркало складатиметься із 1500 окремих шестигранних сегментів, а пристрої активної та адаптивної оптики стануть ще досконалішими.

3. Космічні інтерферометри

Принципи інтерферометрії невдовзі будуть застосовані для створення нового покоління космічних телескопів. Серед них проєкт шукача планет земного типу (Terrestrial Planet Finder, TPF) стане завершальним етапом довгострокової програми, ключовими віхами якої будуть дослідження за допомогою наземних інтерферометрів, космічного інтерферометра (Space Interferometer Mission, SIM) і NGST. Європейське космічне агентство розробляє інфрачервоний інтерферометр (Infrared Space Interferometer, IRSI), інша його назва – „Дарвін”. Завдання IRSI та засоби їх виконання дуже близькі до TPF. Астрономи та інженери від обох проєктів тісно співпрацюють. Якщо SIM стане першим кроком у космічній інтерферометрії з по-



рівняно малими телескопами та базою майже 10 м, то у TPF віддаль між окремими телескопами досягатиме кількох сотень і навіть тисяч метрів.

Схема космічного інтерферометра „Дарвін”, який функціонуватиме на віддалі 1,5 млн. км від Землі, зображена на рис. 12. Шість окремих телескопів діаметром 1,5 м перебуватимуть на незалежних платформах, центральний з них прийматиме оптичні сигнали від окремих дзеркал і складатиме їх за принципом інтерферометра. Система буде скерована в протилежному від Сонця напрямку і реєструватиме інфрачервоне світло від планетарних систем. Теплові екрани захищатимуть елементи оптичної схеми від сонячного світла.

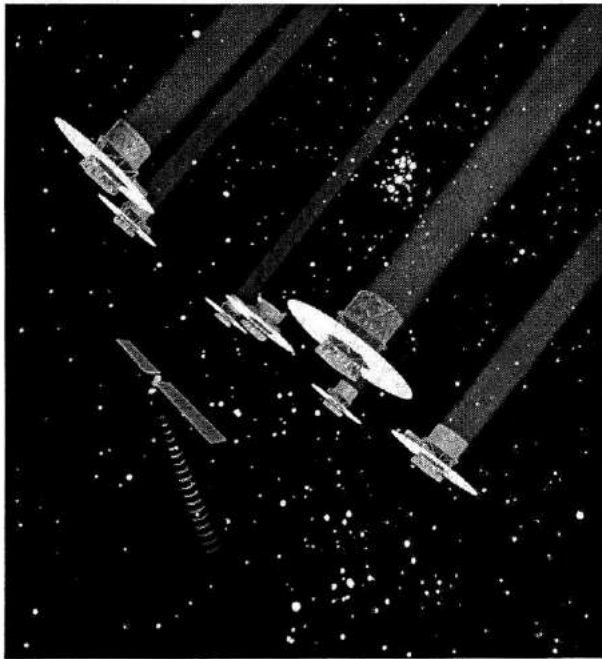


Рис. 12. Можливо так виглядатиме у космосі інтерферометр Європейського космічного агентства IRSI („Дарвін”). Схематично виділені потоки інфрачервоного світла, яке прийматиметься дзеркальними незалежними телескопами

Бази космічного інтерферометра „Дарвін” передбачається змінювати між 50 та 500 м. Віддаль між периферійними телескопами та центральним вимірюватиметься за допомогою лазерів, а невеликі реактивні двигуни підтримуватимуть її сталою упродовж кожної експозиції з точністю до мікрона. Сьомий невеликий апарат, який видно

трохи нижче від центрального на рис. 12 використовуватиметься для керування та зв'язку з Землею.

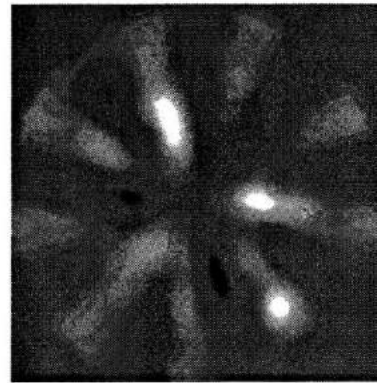


Рис. 13. Комп'ютерна модель зображення центральної частини нашої планетної системи, яке могло б бути одержане космічним інтерферометром „Дарвін” з віддалі 10 парсек

Комп'ютерне моделювання підтверджує можливість детектування з віддалі 10 парсек (33 світлових роки) планет земного типу (Венера, Земля, Марс), які перебувають у внутрішній частині Сонячної системи. Після десяти годин експозиції картина виглядатиме, як на рис. 13. Три яскраві об'єкти суттєво вирізняються на темнішому тлі, додаткові радіальні рукави є наслідком особливостей роботи інтерферометра. Однак зауважмо, що в центрі картини не видно зорі, хоча вона й у мільйони разів яскравіша від планет у цій ділянці спектра. Важливим удосконаленням інтерферометрів IRSI та TPF стане „нуль-метод” реєстрації – світло від центрального об'єкта, яке приймають різні апертури інтерферометра, відніматиметься.

Для детектування периферійних планет потрібно забезпечити однаковий для усіх довжин хвиль фазовий зсув на 180° лише між осьовими світловими пучками (від центральної зорі). Тоді внаслідок інтерференції вони взаємно погашатимуться. Реалізація нуль-методу значно складніша від стандартного інтерферометра. Його якість оцінюється відношенням $N = I_{\text{нуль}}/I_0$ – інтенсивності центральної зорі після занулення $I_{\text{нуль}}$ до інтенсивності без занулення I_0 . Не торкаючись технічних особливостей і схем реалізації цього



методу, зауважмо лише, що на восьмиметровій апертурі з $N \sim 10^{-9}$ пристрої активної оптики мають відтворювати форму дзеркал з точністю $\sim 0,1$ нм. Поки що такі характеристики апаратури перебувають за межами технічних можливостей. Земними телескопами сьогодні вдається „погасити” світло від центральної зорі лише приблизно у 100 разів. Унаслідок атмосферних спотворень хвильових фронтів навіть у найдосконаліших телескопах теоретично не можна перевищити межу $N \sim 10^{-3} - 10^{-4}$.

Окрім одержання зображень позасонячних планетних систем, метою космічних інтерферометрів SIM, IRSI та TPF буде також їхня спектроскопія в діапазоні довжин хвиль 7–20 мкм. При температурі поверхні планети майже 300 К саме в цій області спектра інтенсивність теплового випромінювання найбільша. Однак власне випромінювання планет проходить крізь атмосферу і вибірково поглинається її компонентами, що приводить до виникнення характерного спектра (рис. 14).

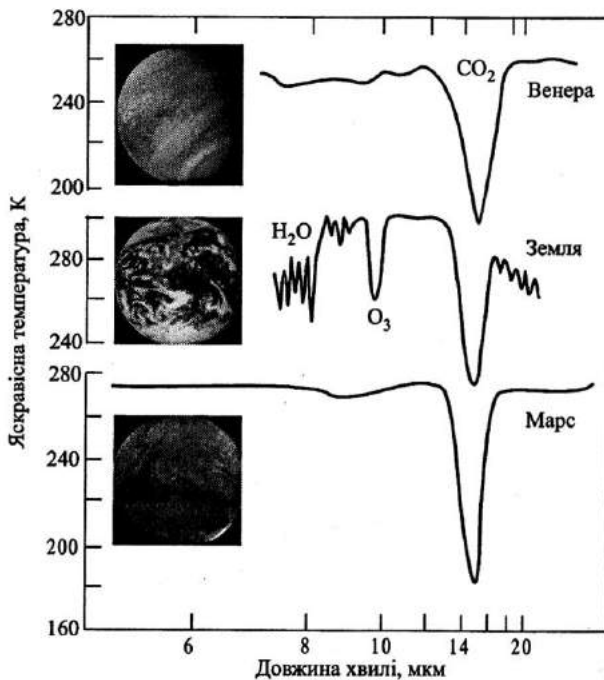


Рис. 14. Спектри випромінювання планет земного типу які можна було б виміряти за допомогою космічних інтерферометрів

В атмосфері Венери та Марса переважає вуглекислий газ (CO_2), тоді як у спектрі Землі спостерігаються смуги поглинання води (H_2O) та озону (O_3) – вирішальних компонент, потрібних для життя. Вважають, що на ближчих до зорі планетах вода відсутня через випаровування, а на далеких – вона замерзає. Наша Земля в Сонячній системі перебуває на оптимальній віддалі. Подібні планетні системи стануть предметом пошуку цих принципово нових космічних апаратів.

4. Програма пошуку життя поза межами Сонячної системи

Старт TPF, який планується 2011 року, не стане кінцевим пунктом програми пошуку планет з ознаками життя. Наступна його модифікація вже з 25-метровими телескопами зможе робити понад 1000 вимірювань атмосфер планет з часом інтегрування – місяць. Система має використовувати базу завдовжки 15 км для надійного розділення планет від їхніх супутників. На рис. 15 зображено співвідношення між базою, апертурою, лінійним розділенням та кількістю телескопів в інтерферометрі.

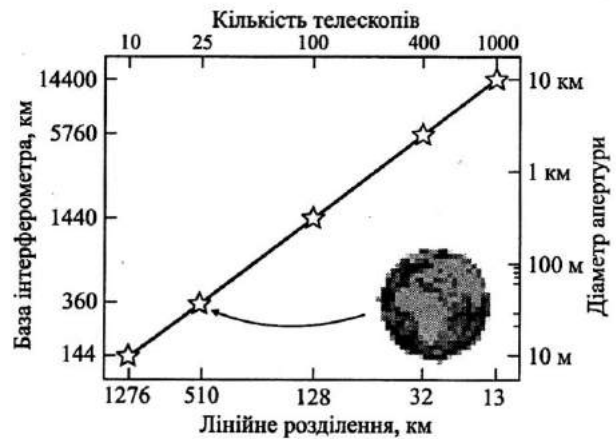
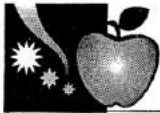


Рис. 15. Можливості космічної інтерферометрії та потрібні апертури й бази

У видимому світлі можна одержати зображення планети земного типу (розміром 25×25 пікселів) з віддалі 10 парсек, якщо використати 25 телескопів діаметром 40 м і редукувати інтенсивне зоряне світло в 10^{10} разів. Масив космічних апаратів має забезпечувати базу ~ 360 км (рис. 15).



Отже, потрібний розмір апертури і база зростають фантастично, якщо передбачається розглядати планету з розділенням у декілька пікселів на континент. Побудувати такі телескопи можна лише, використовуючи надлегкі ($< 1 \text{ кг/м}^2$) дзеркала і технології, про які можна лише здогадуватися. Зображення високого розділення значно розширяють можливості астрономії, а прецизійні системи контролю місця перебування космічних апаратів згодом будуть застосовані у космічній гравітаційній астрономії. Якщо використати ефект відхилення світлових променів у гравітаційному полі Сонця і належно розташувати телескопи, то база космічного інтерферометра досягатиме $\sim 1,5$ млн. км (див. журнал „Світ фізики”. 2000. № 1).

Космічні інтерферометри не стануть завершальним пунктом програми пошуку життя в позасонячних системах. Вони будуть лише черговим

щаблем на тривалому сходженні людства до розкриття цієї найбільшої загадки Природи. З'ясування кардинального питання – чи Всесвіт наповнений життям, поглиблення і розширення розуміння нашого місця в ньому – основна їхня мета. У написанні статті та підборі ілюстрацій до неї автор використав матеріали офіційних інтернет-сторінок:

European Southern Observatory <http://www.eso.org>
Gemini Observatory <http://www.us-gemini.noao.edu>
Infrared Space Interferometer <http://ast.star.rl.ac.uk/darwin>
Keck Interferometer <http://huey.jpl.nasa.gov>
Optical Engineering Magazine <http://www.oemagazine.org>
Scientific American <http://www.sciam.com>
Space Interferometer Mission <http://sim.jpl.nasa.gov>
Terrestrial Planet Finder <http://tpf.jpl.nasa.gov>

Світло далеких зір уже відкриває атмосфери своїх планет

Астрономи вперше побачили атмосферу планети не в межах Сонячної системи. Це перший крок до виявлення планет з ознаками життя. Д. Шарбоне (David Charbonneau) та його колеги з Каліфорнійського Технологічного інституту скерували Космічний телескоп ім. Габбла на планету, яка перебуває на відстані 150 світлових років від Землі, у сузір'ї Пегаса. Поміж 74-х знайдених досі позасонячних планет, це мабуть єдина, орбіта якої проходить між Землею та її зорею, що дає змогу дослідникам бачити зоряне світло, яке проходить крізь атмосферу планети.

Існує дуже мала ймовірність, що на цій планеті є життя. Це велетенська куля, майже такого ж розміру, що й Юпітер, але орбіта її менша від орбіти Меркурія. Один рік триває лише чотири земні дні, а температура там досить висока – майже 1100°C .

Дослідники налаштували телескоп так, що той знаходив сліди натрію, оскільки цей елемент дає винятково сильний сигнал у спектрі. Насправді ж виявлено менше натрію, ніж передбачалося. Шарбоне припускає, що це пов'язано із частковим вбиранням зоряного світла хмарами планети.

Згодом дослідники сподіваються знайти вуглекислий газ, метан і водяну пару. Планета занадто гаряча, щоб містити кисень, який потенційно створював би можливість життя. Однак це не засмучує Шарбоне. Він вважає, що відкриття планет земного типу „набагато ближче, ніж люди це собі уявляють”.

Два космічні телескопи, які зараз проєктуються, „Кеплер” (NASA) та „Еддінгтон” (ESA – Європейське космічне агентство) шукатимуть планети із розмірами та орбітами, близькими до земних, і вивчатимуть їхні атмосфери.

За допомогою однометрового телескопа–фотометра, „Кеплер” (старт планується на 2006 рік) точно вимірюватиме невеликі зміни яскравості зір у моменти, коли планета перетинатиме лінію, яка сполучає космічний апарат та зорю. Так можна буде визначити розміри планет та їхніх орбіт. За допомогою CCD-матриць одночасно реєструватимуться тисячі зір, оскільки ймовірність того, що хоча б одна планета перебуватиме на такій лінії не перевищує 0,5 %. Дослідивши 100 000 зір, подібних до нашого Сонця, наукова команда „Кеплера” сподівається відшукати кілька сотень планет земного типу. Ці результати згодом будуть використані в роботі TPF (див. статтю вище). Дослідження ж з апаратом „Еддінгтон” потрібні для планування програми космічного інтерферометра „Дарвін”. Це яскравий приклад творчих змагань науковців різних країн.

За матеріалами „Nature News Service” Macmillan Magazines Ltd 2001



До 80-річчя від дня народження



Остап Парасюк

Львівській українській гімназії. Після закінчення гімназії він продовжив навчання у Львівському ліцеї, який закінчив 1939 року. •

Захоплення фізикою і математикою почалось ще в перших класах Перемишлянської гімназії. Тому природним був його вступ до університету на фізико-математичний факультет. Після відомих подій вересня 1939 року навчання в університеті розпочалось тільки у січні 1940 року. Серед університетських професорів було багато тих, з ким Остап Степанович був знайомий ще з лицюю, зокрема Зенон Храпливий, Володимир Левицький, Йосип Кобів та інші. Були й нові відомі імена європейської та світової науки: С. Банах, А.Мазур, Г. Штайнгауз. На факультеті діяв регулярний науковий семінар, яким керував С. Банах. Молодий студент намагався не пропускати жодного засідання і захоплено слухав доповіді про найсучасніші проблеми математики. Пам'ять про цю романтичну пору, про атмосферу високої творчості залишилась у нього на все життя.

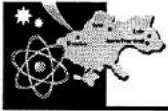
Академік Остап Степанович Парасюк зробив великий внесок у становлення сучасної математичої фізики в Україні. Цю галузь науки О. Парасюк та його учні трактують досить широко, залучаючи до неї теорію узагальнених функцій, теорію операторних алгебр, теорію груп та їхніх представлень. Охоплюючи майже всю математику, вона має бути спрямована на розв'язання фундаментальних проблем фізики. Яскравою ілюстрацією такої наукової стратегії є праці О. Парасюка, які він виконав особисто або в співавторстві з М.Боголюбовим.

У рік 80-річчя видатного вченого маємо нагоду оглянути його життєвий та творчий шлях і почерпнути з нього багато повчального. Особистість Остапа Степановича неординарна. Вона уособлює важливу історичну ланку в історії української культури, ланку, що поєднує різні часи і різні покоління: наукову традицію довоєнного Львова, яка природно сформувалась у лоні західноєвропейської цивілізації і посідала в ній чільне місце, із сучасністю, коли Україна утверджується як рівноправний член Європейської спільноти.

О. Парасюк народився 20 грудня 1921 року в с. Білки поблизу містечка Перемишляни Львівської області. У 1934–1936 роках навчався у польській гімназії в Перемишлянах, а пізніше – у

Проте навчання в університеті тривало недовго. 1941 року німці окупували Львів і закрили університет. Лише 1942 року було дозволено викладання в політехнічному інституті, було відкрито фахові курси з технічних дисциплін. Остап Степанович відвідував ці курси, але рівень викладання був там не такий, як в університеті. Талановитий юнак вчився самостійно. Окрім математики, знайомився з основами квантової механіки та електродинаміки.

У 1944 році радянські війська вступили до Львова. Місцевих юнаків мобілізували до війська, серед них був О.Парасюк. Він воював у складі 4 Українського фронту, травень 1945 року зустрічав під Прагою. Однак служба в армії не закінчилася. Його військову частину перекинули до східної Пруссії. Лише у грудні 1945 року на



підставі наказу про демобілізацію військово-службовців, які були призвані до армії зі студентських лав, О.Парасюк поновився у Львівському університеті. Закінчив він університет екстерном 1947 року.

На той час у Львові було відкрито відділення інституту математики Академії наук УРСР. У 1947–1949 роках О.Парасюк – аспірант цього інституту. Працював під керівництвом академіка Г.Савіна в галузі механіки. У вересні 1949 року захистив кандидатську дисертацію на тему „Пластичні зони при концентрації напруження навколо отворів”. У 1949–1951 роках О. Парасюк – старший науковий співробітник відділу теорії пружності Львівського відділення Інституту математики, читає лекції з механіки та гідродинаміки у Львівському університеті.

Після організації Львівського філіалу АН УРСР О.Парасюка призначили заступником директора новоствореного Інституту машинознавства та автоматики. Він бере активну участь в організації роботи цього Інституту, вирішує практичні задачі, однак не залишає високої напруги, вивчає квантову електродинаміку, з журнальних статей та збірок знайомиться з працями М. Боголюбова, в яких той пробує осмислити проблему розбіжностей квантової теорії поля з математичного погляду

Щаслива доля звела О. Парасюка з академіком М. Боголюбовим у січні 1953 року. За рекомендацією Б. Делоне, талановитий науковець з провінції отримує запрошення в докторантуру Московського математичного інституту ім. Стеклова.

Знайомство з М. Боголюбовим відбулося першого дня його перебування у Москві в кабінеті директора Інституту ім. Стеклова М. Виноградова. З Миколою Миколайовичем порозумілися з півслова. Остап Степанович виявився обізнаним з проблемами, якими цікавився М. Боголюбов. Тому швидко була сформульована задача і за півроку молодий докторант розв’язав її: була розвинута нова техніка усунення розбіжностей у квантовій теорії поля і доведена теорема про перенормованість квантової електродинаміки в будь-якому порядку за теорією збурень. Сьогодні ці результати – всесвітньо відомою класикою квантової теорії.

У травні 1955 року в Інституті ім. Стеклова АН СРСР О. Парасюк успішно захистив доктор-

ську дисертацію на тему „Теорія множення нульових операторів” і повернувся до Львова. Працював на посаді старшого наукового співробітника Інституту математики АН УРСР, одночасно викладав у Львівському університеті, читав лекції з теоретичної механіки, стійкості руху, гідромеханіки, аеродинаміки, теорії пластичності.

У 1956 році О.Парасюка перевели до Києва в Інститут математики, де він очолив відділ функціонального аналізу, а 1963 року – відділ теоретичної фізики. З 1957 року в Києві під його керівництвом почав працювати семінар із проблем квантової теорії поля.

1958 року О. Парасюка було обрано член-кореспондентом АН УРСР. З 1966 до 1970 О. Парасюк – член Президії АН УРСР, академік-секретар Відділення фізики та астрономії. Саме в цей час за його активного сприяння в Академії наук з’явилося два нових інститути – Інститут теоретичної фізики та Інститут ядерних досліджень АН УРСР.

Наукова діяльність Остапа Степановича стосується багатьох розділів математики та теоретичної фізики. Перший цикл наукових праць, який він виконав під керівництвом академіка АН УРСР Г.Савіна, стосується проблем класичної математичної фізики та механіки.

Найважливішим науковим досягненням О. Парасюка є те, що разом з М. Боголюбовим він побудував віднімальну процедуру для усунення розбіжностей у квантовій теорії поля (R-операції Боголюбова-Парасюка) і довів на її основі перенормованість квантової електродинаміки. Підхід Боголюбова-Парасюка до проблем розбіжностей з погляду теорії множення узагальнених функцій виявив глибоку фізичну природу цього, як спочатку вважали, „математичного казусу”. Як стало зрозуміло після праць М. Боголюбова та О. Парасюка й серії праць стосовно ренорм-групової інтерпретації віднімальної процедури, поява розбіжностей є виявом ієрархії масштабів, яка об’єктивно існує в природі. Квантова теорія поля, оперуючи поняттям локального поля і претендуючи на опис природи на як завгодно малих масштабах, неодмінно стикається з проблемою взаємозв’язку величин, якими оперує теорія, зі спостережуваними величинами, які вимірюються в макроскопічному масштабі. Якщо такого зв’язку не має, то теорію не можна назвати фізичною. Тому перенормованість стає важливим евристичним прин-



ципом у сучасній квантовій теорії поля, на основі якого встановлюється коректність тієї чи іншої теорії. Це було яскраво продемонстровано у побудові єдиної теорії електрослабких взаємодій (С. Вайнберг, А. Салам, Нобелівська премія 1978 року). Лише після того, як Т. Гофт і М. Вельтман довели перенормованість цієї теорії (Нобелівська премія 1999 року), вона набула статусу коректної фізичної теорії.

Відкриття R-операції – надзвичайне досягнення у квантовій теорії поля. R-операція – найдосконаліша форма віднімальної процедури. Вона є найвищим досягненням застосування методів математичної теорії узагальнених функцій у проблемах квантової теорії поля. За висловом швейцарського фізика-теоретика К. Хеппа, „R-операція – загальнішим, дуже винахідливий та детально опрацьований метод усунення розбіжностей у лагранжеві квантовій теорії поля”.

Із часу появи теорії R-операції не згасає живий інтерес дослідників до проблеми перенормувань у квантовій теорії поля. Оpubліковано сотні праць, в яких розвиваються і застосовуються основоположні ідеї М. Боголюбова і О. Парасюка. Проте теорема Боголюбова-Парасюка і рецепт R-операції не втрачають свого постійного й актуального „робочого” статусу. З’явилися нові нетривіальні й ефективні схеми перенормувань. Кожна нова схема набуває „права громадянства”, лише витримавши випробування на те, чи збігається вона з R-операцією. У цьому і полягає неминуща роль конструкції Боголюбова-Парасюка.

У галузі досліджень О. Парасюка з квантової теорії поля окремий цикл становить його праці з вивчення аналітичних властивостей амплітуди розсіювання за допомогою теорем класичної теорії функцій. Остап Степанович 1963 року у зв’язку з дослідженням аналітичних властивостей амплітуд Р. Фейнмана першим звернув увагу дослідників на можливість використовувати класичні

результати А. Пуанкаре в цій проблемі. З’ясувалося, як зауважив О. Парасюк, що під час дослідження сингулярностей амплітуд Фейнмана фізики й не підозрювали, що вони дослівно відтворюють міркування А. Пуанкаре, які відомий математик ще 75 років тому навів у задачі про аналітичні властивості інтегралів як функцій параметра. У цій же праці Остап Степанович виявив несподівану аналогію між аналітичними методами теорії збурень і квантової теорії поля.

Наукову та науково-організаційну роботу О. Парасюк нерозривно пов’язував з педагогічною діяльністю у Львівському та Київському університетах. Лекції О. Парасюка мали творчий характер і незмінно захоплювали слухачів глибиною думки і доступністю викладання найскладніших питань предмета.

Під керівництвом О. Парасюка в Києві з 1957 року працює науковий семінар з математичних проблем квантової теорії поля. Присвячений актуальним питанням математичної і теоретичної фізики цей семінар став великою школою для багатьох молодих київських фізиків-теоретиків. Серед учнів Остапа Степановича – 5 докторів та понад 20 кандидатів наук, які успішно працюють у галузі математики, теоретичної та математичної фізики.

Наукову, педагогічну та громадську діяльність Остапа Степановича високо оцінила держава. За участь у Великій Вітчизняній війні його нагороджено орденом Вітчизняної війни та багатьма медалями. Науково-педагогічну діяльність О. Парасюка відзначено двома орденами Трудового Червоного Прапора та медалями.

Петро Голод,
завідувач кафедри фізики та
математики Національного
університету „Києво-
Могилянська академія”

У день 80-річчя від дня народження редакція журналу „Світ фізики” бажає Вам, Остапе Степановичу, міцного здоров’я, творчої наснаги і трудових успіхів на благо нашої науки.

Останнім часом все більше і більше українських школярів мають змогу навчатися в різних країнах світу, порівняти і зробити власні висновки щодо рівня та системи освіти в Україні та світі. Українські школярі, які потрапляють на навчання за кордон (а це, зазвичай, не найгірші) непогано володіють іноземними мовами, мають добрі знання і успішно адаптуються до нових умов навчання. А це свідчить про належний рівень освіти в Україні.

Пропонуємо читачам розповідь Сергія Батюка про навчання, систему освіти та олімпіадний рух у США. Сергій навчався в США рік за програмою обміну школярів, брав участь у Всеамериканській олімпіаді з фізики і став переможцем цієї олімпіади у штаті Луїзіяна (1-е місце).

Освіта Америки очима українського школяра

Літак поступово йшов на зниження. Крізь ілюмінатор було видно лише неосяжні водні простори. Потім почали з'являтися смужки землі з дорогами, сполучені між собою довжелезними мостами. Ми підлітали до Нового Орлеану. За кілька хвилин шасі плавно торкнулися землі, і на цьому завершилася моя дводенна подорож назустріч цілому рокові в невідомій ще для мене Америці.

Структура американської середньої освіти

Вигравши грант FSA FLEX, який спонсорує уряд США, я отримав змогу провести рік у Сполучених Штатах, навчатись в американській середній школі. Отже, весь 2000–2001 навчальний рік я жив у типовій американській сім'ї та здобував знання в 10-му класі L. W. Higgins High School – великій за кількістю учнів школі (понад півтори тисячі учнів) у передмісті Нового Орлеану, штат Луїзіяна.

Не можу сказати, що не був готовим до навчання в американській школі, проте нових вражень на початку було дуже багато. Та воно й не дивно. Адже системи освіти в Україні та США суттєво відрізняються. Почну з найважливішого. Якщо б Ви народилися в Сполучених Штатах, то Вам довелося б учитися в школі не десять, а цілих дванадцять років¹. А загалом Ваше дитинство виглядало б приблизно так:

– з 3 до 5 років: Ясла (Nursery School) – це не обов'язкова школа, де діти разом бавляться та вчаться спілкуватись;

– з 5 до 6 років: Дитячий садок (Kindergarten) – обов'язковий у більшості штатів;

– з 6 до 12 років: Початкова школа (Elementary School). Учні навчаються із 1-го до 5(6)-го класу вивчають такі загальні предмети, як читання, письмо, природознавство, арифметика та основи різних соціальних наук;

– з 12 до 15 років: Молодша вища школа (Junior High School, часом також Middle School) – це 6(7)–8(9)-й класи. Тут учням пропонується ширша програма, що заохочує школярів до пошуку власних зацікавлень та розвитку особистих здібностей;

– з 15 до 18 років: Вища школа (Senior High School, а зазвичай просто High School) пропонує широку загальноосвітню програму, щоб задовольнити потреби всіх учнів – це 9(10)–12-й класи.

Щоб закінчити вищу школу і відповідно отримати диплом про середню освіту, учням за час свого чотирирічного навчання слід здобути („заробити“) певну кількість кредитів² (у моїй школі – 23). До того ж ще треба успішно опанувати деякі предмети (історії США, англійської мови, математики, фізичного виховання тощо), що їх вимагають місцеві органи влади з питань освіти.

Майже 25% американських школярів продовжують навчання у дво- або чотирирічному коледжі чи університеті. Там пропонують великий вибір програм, починаючи з високо теоретичних та закінчуючи суто практичними. Додам, що за статистикою американці з вищою освітою зароб-

¹ Щоправда, цього року в нас цю різницю було усунуто.

² „Кредити“ – це бали, які учень отримує за кожен успішно пройдений курс.

ляють значно більше грошей ніж їхні співгромадяни, які починають працювати одразу ж після закінчення школи. Де-де, а в США цінують розумних людей!

Адміністрація державної шкільної системи

За Конституцією США, федеральний уряд не регламентує системи шкільної освіти для всієї країни. Адміністрування шкіл відбувається на рівні штатів. Проте більшість із них надає це право місцевим шкільним округам. Міста, зазвичай, мають власні округи, проте в сільській місцевості великі території можуть бути об'єднані у так звані „уніфіковані шкільні округи”. У таких районах учням інколи доводиться долати на шкільному автобусі чимало миль аби дістатися до храму науки.

Жителі кожного округу обирають шкільну раду, яка визначає програму для кожної школи, запроваджує бюджет та обирає курс адміністративної політики. Керівник шкіл (superintendent of schools) – це найвища виконавча посада в шкіль-

ному окрузі. Саме ця особа переважно наймає директорів навчальних закладів. Учителів беруть на роботу за контрактом на декілька років. Щоб поновити його, освітянам треба проходити додаткові курси. У США намагаються підтримувати належний фаховий рівень учителів.

Фінансування шкіл округу здійснюється по-різному в кожному штаті. У деяких, наприклад, власники нерухомості сплачують податки на утримання шкіл. Додатково до місцевих надходжень школам, які задовольняють певні критерії, встановлені урядом, надають ще й федеральні гранти та гранти штатів.

Історичний відступ

Школа, безперечно, дуже важлива інституція в будь-якому розвинутому суспільстві. Однак, щоб повністю усвідомити її специфічну роль та значення для американців, треба зазирнути в історію, щоб зрозуміти, як вона зародилась і як виглядає сьогодні.



Перші поселенці у Новій Англії принесли із собою британську систему середньої освіти, за якою учні навчалися в різних школах, що відповідали їхнім інтелектуальним можливостям. Проте у західних штатах, де на початку ХІХ сторіччя життя було значно важчим, були створені школи тільки одного типу. Там діти вивчали лише найголовніші предмети: письмо, читання та арифметику. Згодом із збільшенням кількості емігрантів, що прибували до США, школа поступово перетворювалася на місце, де зустрічалися, при звичаювалися одне до одного та навчалися діти з різних куточків світу. Так сформувалось нове завдання школи: інтегрувати усі відмінності між ними в те, що тепер називається „американською культурою”.

Наприкінці 1950-х років (коли вже були запущені перші космічні ракети та США конкурували із СРСР за лідерство у світі) у Сполучених Штатах усвідомили потребу в більшій кількості молодих людей з добрими знаннями математики і „важких” наук (фізики, біології та хемії). Тому було започатковано диференційовану систему на базі вже чинної структури вищої школи (high school). Одним із важливих нововведень було те, що в учнів з’явилася змога навчатись у спеціалізованих класах залежно від їхніх здібностей та інтелектуальних здобутків. Найважчими вважають класи advanced placement (AP). До речі, я вивчав AP математику (Calculus AP) та поглиблений рівень фізики (Physics Honors) і хочу зауважити, що це було не складніше, ніж у нашій середній школі.

Шкільні предмети

Підхід до навчання в американських вищих школах суттєво відрізняється від того, до якого звикли ми. Однією з найважливіших відмінностей є, безперечно, поділ предметів на обов’язкові, тобто ті, які має вивчати кожен, та на рекомендовані. З останніх ви вибираєте ті, що вам ближче до душі. Проте не можна забувати, що якщо ви хочете здобути диплом, то загальна кількість курсів мусить бути не меншою за встановлений мінімум.

Щодо різноманіття предметів, що їх пропонує школа, то все залежить від розміру та фінансових можливостей шкільного округу. Переважно кожний учень має змогу вивчати від шести до восьми курсів за рік. Інша доволі цікава особливість



Учитель фізики (США) Джон Гайні та Сергій Батюк

устрою шкіл у США – це розклад, за яким ви щодня маєте ті самі уроки. Заслуговує на увагу й те, що в американських high school кожному школяреві призначається один із декількох шкільних радників-психологів. Це спеціально треновані освітяни, які допомагають дітям вибрати предмети і майбутню професію, розв’язати особисті проблеми.

Тести та екзамени

Як і в кожній шкільній системі, в американських high school є тести та екзамени, і їх досить таки багато. Переважно практикуються щотижневі письмові тести або невеликі самостійні роботи. Вони, зазвичай, складаються з великої кількості (30–150) запитань, більшість із яких вимагають відтворення детальної, фактичної інформації. Творчі завдання трапляються дуже рідко. Деякі вчителі оцінюють за 100-бальною системою, інші ж використовують літерну, за якою ви можете отримати А, В, С, D або F. „А” у нашому випадку найвища, а „D” – найнижча прохідна оцінка. Отримавши „F”, можете вважати, що тест ви „провалили”. Досить часто (наприклад, виставляючи четвертні чи семестрові оцінки) відсотки переводять у літери. Їм відповідають бали (переважно від 0 до 4), які використовуються для визначення середньої оцінки за рік.

„А” Відмінно	90–100% (4.0 бали)
„В” Добре	80–89% (3.0 бали)
„С” Задовільно	70–79% (2.0 бали)
„D” Прохідний мінімум	65–69% (1.0 бал)
„F” Незадовільно	64% і нижче (0 балів)

У кінці кожного навчального періоду учні складають іспити з усього матеріалу, пройденого за цей час. Четвертні (семестрові) оцінки переважно визначаються як середнє арифметичне всіх оцінок за тести, домашні роботи та екзамен³.

Позашкільна діяльність, організації та життя учнів

Позашкільна діяльність – це численні зустрічі членів гуртків, музичні й театральні репетиції та спортивні тренування, що їх можна побачити в американських high school після уроків. Це, на мою думку, дуже важлива частина життя школи, адже завдяки цьому відбувається спілкування між групами учнів, які навчаються на різних академічних програмах. Підлітки, що, зазвичай, ніколи б не зустрілися в одній класній кімнаті, знайомляться у сферах спільного зацікавлення. Так в учнів з’являється нагода поглибити свої знання у різних напрямках та провести вільний час разом із друзями.

Незважаючи на те, що позашкільна діяльність не обов’язкова, більшість учнів бере у ній активну участь. Отже, школа стає центром суспільного життя американських школярів.

Кількість та типи гуртків, знову ж таки, залежать від розміру, структури і фінансової спроможності школи. У більшості шкіл діють мовні, мате-

матичні, природничі та драматичні гуртки, а також такі, які готують учнів до майбутніх професій.

Інший важливий аспект американської high school – це, безумовно, спорт. У багатьох школах є багато різних команд. Я, наприклад, намагався довести американським однокласникам, що українці грають у футбол не гірше за бразильців чи мексиканців.

Американським футболом, баскетболом і бейсболом захоплюються майже у всіх школах. Якщо Вам поталанило навчатись у великій та багатій школі, можна також займатися тенісом, гімнастикою, хокеєм, плаванням, гольфом, волейболом або легкою атлетикою. Європейський футбол тут дедалі популярніший.

Школи, зазвичай, мають спортивні команди двох рівнів. На вищому рівні (у „varsity teams”) ви захищаєте честь школи на міжшкільних змаганнях (ваші тренування у цьому випадку будуть дуже інтенсивні), а на нижчому рівні (в „intramural teams”) просто намагаєтесь перемогти своїх друзів. Додам, що в більшості шкіл потрапити у varsity teams дуже складно.

Крім гуртків та спортивних команд, існує ще й безліч шкільних організацій, серед яких однією з найавторитетніших можна вважати Студентську Раду, яка організовує різні шкільні заходи.

Олімпіади

Менше уваги, на жаль, приділяється позашкільній науковій діяльності, хоча і досить багато учнів бере участь в олімпіадному русі. На мою думку, більшість робить це лише з цікавості, а не для того, щоб досягти якихось конкретних результатів.

За час перебування в США, мені поталанило спробувати сили в олімпіаді з фізики⁴. Почалося все з того, що я, будучи непогано підготовлений у рідному Львівському фізико-математичного ліцеї, справив добре враження на мого вчителя п. Джона Гайні (Mr. John Heine). А це дуже важливо, адже першого, тобто шкільного, туру олімпіади,

³ У моїй школі у США оцінка за чверть вираховувалась за такою формулою: $(2 \cdot T + N + E) / 4$, де T – середнє арифметичне всіх результатів за тести, N – середнє арифметичне за домашні роботи і E – оцінка за екзамен.

⁴ Пояснення того, чому тільки з фізики дуже просте. У США всі олімпіади проводять в один і той же час. Тому школяр може взяти участь тільки в одній із них.

як такого, не існує. Учитель сам вибирає тих, хто на його думку зможе належно представити школу на районному рівні. Я, безперечно, погодився на пропозицію учителя фізики і, залагодивши всі формальності, почав готуватись до першого етапу олімпіади. Він відбувся у березні 2001 року в Університеті Нового Орлеану (University of New Orleans), і, чесно кажучи, був не надто вдалим для мене (тільки IV місце, котре все ж таки дало мені змогу взяти участь у наступному етапі). Пояснити такий результат можна тим, що спочатку я ще не мав жодного уявлення про те, якого типу завдання практикують на фізичних олімпіадах у Сполучених Штатах. Тепер із власного досвіду можу сказати, що це були тести з 50 запитань на 50 хв. Увага акцентувалася на теоретичних запитаннях, траплялися і нескладні, але цікаві задачі з хитринками. Словом, олімпіада була подібною до математичного конкурсу „Кенгуру”, що вже декілька років проводиться в Україні. Наступний етап олімпіади мало чим відрізнявся від попереднього. Лише завдання були складнішими, та й олімпіада проходила вже в столиці

штату м.Батон Руж, у Louisiana State University. Цього разу пропонувалось розв'язати вже 60 завдань за 50 хв. Саме тестування проходило в приміщенні фізичного факультету у великій аудиторії. Було майже 300 учасників. Для запису відповідей на запитання були передбачені спеціальні бланки, на яких треба було зазначити правильні відповіді. Результати тестування опрацьовував комп'ютер. До речі, таку систему перевірки завдань часто використовують і в звичайних школах.

Варто було взяти участь у цій олімпіаді навіть тільки тому, що я мав нагоду побачити чудове й затишне університетське містечко. До речі, зайнявши перше місце в штаті, я досить непогано представив українську школу загалом. Своїм високим результатам завдячую насамперед наполегливій праці та старанням учителів Львівського фізико-математичного ліцею, зокрема Олександрові Гальчинському – моєму вчителеві фізики, та їхнім заокеанським колегам (п. Джону Гайні).

Сергій Батюк,

*учень 11-го класу Львівського
фізико-математичного ліцею*

Конференції

Конференції

„Стратегічні проблеми формування змісту курсів фізики та астрономії в системі загальної середньої освіти”

Міністерство освіти і науки України, Академія педагогічних наук України, Львівський національний університет імені Івана Франка спільно з управлінням освіти і науки Львівської обласної державної адміністрації та Львівським обласним інститутом післядипломної педагогічної освіти 25–27 лютого 2002 року проведуть Всеукраїнську науково-практичну конференцію „Стратегічні проблеми формування змісту курсів фізики та астрономії в системі загальної середньої освіти”.

Передбачається розглянути такі питання:

1. Формування структури і змісту курсів фізики та астрономії 12-річної загальної середньої освіти.
2. Новітні освітні технології у викладанні фізики та астрономії у школі.
3. Системи поглибленого вивчення фізики та астрономії.
4. Найновіші досягнення в фізиці та астрономії, особливості їх викладання в шкільних курсах фізики та астрономії.

„Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих освітніх закладах”

Міністерство освіти і науки України, Академія педагогічних наук України, Національний університет „Львівська політехніка” 7–9 жовтня 2002 року проведуть Міжнародну науково-методичну конференцію „Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих освітніх закладах”.

Тематика конференції:

1. Навчальні програми з фізики.
2. Методика викладання.
3. Лекційні демонстрації та технічні засоби навчання.
4. Лабораторний практикум та його метрологічне забезпечення.
5. Методика оцінювання знань студентів.
6. Комп'ютери у навчальному процесі.
7. Наукова робота у вищих навчальних закладах та участь у ній студентів.
8. Узгодження навчання фізики у вищих і середніх освітніх закладах.

Умови задач

XV Міжнародного турніру юних фізиків

XV Міжнародний турнір юних фізиків відбудеться в Україні. Турнір проходить у травні–черні 2001 року в м. Одесі. Журнал „Світ фізики” інформуватиме наукову та освітянську громадськість України про підготовку, учасників та всі важливі події XV Міжнародного турніру юних фізиків.

Пропонуємо читачеві умови задач цього турніру, що були відібрані з 44-х запропонованих англійською мовою та переклад українською. Робочою мовою турніру буде англійська.

1. Heat engine

A tall glass cylinder is half-filled with hot water and topped up with cold water. A small ampoule, containing a few drops of ether or alcohol (and closed off by a rubber pipette cap), is then put in. Describe the phenomena occurring in the system. How does the motion of the ampoule change with time?

2. Spider's web

A spider's thread looks like a string of pearls. What is the reason for this? Make experiments to investigate the relevant parameters.

3. Flying colours

Why do flags flutter in the wind? Investigate experimentally the airflow pattern around a flag. Describe this behaviour.

4. Hazy

The colour of a distant forest appears not green, but hazy blue. What is the minimum distance at which this phenomenon is observed? How do weather conditions affect this? Is it possible that a forest can appear grey?

5. Pond skater

It is known that unwettable small bodies can float on water due to the surface tension force. Construct a floating raft based on this principle and determine its static and dynamic parameters.

6. Stop and start

Sometimes a flow of traffic can experience sudden stops and starts for no apparent reason. Build a physical model to explain why this occurs.

7. Ohm's Law for a liquid

It is said that electric current „flows”. Is this the only analogy between electric current and the flow of a liquid? Investigate theoretically and experimentally other analogies between these two.

8. Charged sand

Fine, well-dried quartz sand is poured out of a short thin tube into a conical metallic vessel connected to an electrometer. Investigate the behaviour of the sand stream as the vessel fills up. What changes if the stream is lit by a UV-lamp?

9. Chromatography

Put a drop of coloured liquid on a piece of absorbant paper. Describe quantitatively the observed phenomena.

10. Sound cart

Construct and demonstrate a device that can be propelled solely by sound. Investigate its properties.

11. Equilibrium

Fill a glass with water up to the point where a convex meniscus is formed. Place a table tennis ball on the surface of the water. Investigate and explain the stability of its equilibrium. Repeat your experiment with other liquids.

12. Electroconductivity

How can you measure the electroconductivity of salt solutions without using direct contact electrodes? Analyse the problem and demonstrate your device.

13. Spinning ball

A steel ball of diameter 2–3 cm is put on a horizontal plate. Invent and construct a device, which allows you to spin the ball at high angular velocity around a vertical axis. The device should have no mechanical contact with the ball.

14. Torn sail

Determine the dependence of the efficiency of a sail on its degree of perforation. What would be the effect of using a fishing net as a sail?

**15. Pulsating air bubble**

Trap an air bubble of radius 1–2 cm under an inverted watch glass beneath a water surface. Introduce alcohol into the bubble through a thin tube, controlling and adjusting the rate of flow until the bubble pulsates rhythmically. Study the phenomenon and explain your observations.

16. Elastic pendulum

Study and describe the behaviour of a pendulum where the bob is connected to a spring or an elastic cord rather than to a stiff rod.

17. Bottle battle

Take two opened glass bottles of cola and knock one against the other. After a short while, the cola spurts out of one of the bottles. Investigate and explain the phenomenon.

1. Тепловий двигун

Високий скляний циліндр до половини заповнено гарячою, а потім доповнено холодною водою. Маленька ампула, яка містить кілька крапель ефіру чи алкоголю (закрита гумовим ковпачком піпетки), поміщена до циліндра. Опишіть як веде себе система. Як рух ампули змінюється згодом?

2. Сітка павука

Павутина виглядає, як нитка перлин. Чому це так? Проведіть експерименти і дослідіть відповідні параметри системи.

3. Літаючі кольори

Чому прапор розвівається під дією вітру. Дослідіть експериментально картину потоків навколо прапора. Опишіть це явище.

4. Імла

Ліс здалеку здається не зеленим, а повитим блакитною імлою. З якої мінімальної відстані спостерігається це явище? Чи впливають на це погодні умови? Чи може ліс здаватись сірим?

5. Пліт водомір

Відомо, що малі тіла, які не змочуються водою, можуть триматись на воді завдяки поверхневому натягу. Сконструйте пліт, який ґрунтується на цьому явищі. Визначіть його статичні та динамічні параметри.

6. Зупинки і старт

Іноді рухомий потік може несподівано зупинитись і знову рухатись без видимої причини. Побудуйте фізичну модель та поясніть, чому це відбувається.

7. Закон Ома для рідин

Кажуть, що струм „тече”. Чи це єдина аналогія між електричним струмом і потоком рідини? Дослідіть теоретично та експериментально інші аналогії між цими двома явищами.

8. Заряджений пісок

Чистий добре просушений кварцевий пісок висипається з короткої тонкої трубки в конічну металеву лійку, під'єднаний до електрометра. Дослідіть поведінку піску із заповненням лійки. Що зміниться, якщо потік опромінити ультрафіолетовим світлом?

9. Хроматографія

Капніть забарвлену рідину на аркуш фільтрувального паперу. Опишіть кількісно явище, яке спостерігається.

10. Звуковий візок

Сконструйте і продемонструйте пристрій, який рухатиметься завдяки звукові. Дослідіть його властивості.

11. Рівновага

Заповніть склянку водою до рівня, де утворюється опуклий меніск. Покладіть м'ячик від настільного тенісу на поверхню води і поясніть стійкість його рівноваги. Проведіть експеримент з іншими рідинами.

12. Електрична провідність

Як можна виміряти провідність розчину солі безконтактним методом. Проаналізуйте явище і продемонструйте пристрій.

13. Кулька, що обертається

Сталева кулька діаметром 2–3 см розміщена на горизонтальній плиті. Запропонуйте і створіть пристрій, який дасть змогу розкрутити її до великої кутової швидкості навколо вертикальної осі без механічного контакту з нею.

14. Порвані вітрила

Визначіть залежність ефективності вітрила від кількості дірок у ньому. Яка ефективність вітрила, виготовленого з рибальської сітки?

15. Пульсуюча повітряна кулька

Помістіть повітряну кульку радіусом 1–2 см під перевернуту над поверхнею води склянку, введіть через тонку трубку, контролюючи потік, спирт, доки кулька не почне ритмічно пульсувати. Дослідіть це явище і опишіть свої спостереження.

16. Еластичний маятник

Дослідіть та опишіть поведінку маятника, в якому вантаж закріплюють не на жорсткому стержні, а на пружині або еластичному шнурі.

17. Битва пляшок

Візьміть дві відкриті скляні пляшки коли і вдарте одну об іншу. Після короткого проміжку часу кола виплиснуться з однієї з пляшок. Дослідіть та опишіть це явище.

Просимо меценатів підтримати належне проведення
XV Міжнародного турніру юних фізиків в Україні



НОБЕЛІВСЬКІЙ ПРЕМІЇ

100 років



Нобелівська медаль миру (ліворуч), з фізики, хемії, фізіології і медицини, літератури (у центрі), медаль з економіки (праворуч)

Під час святкувань 100-річчя Нобелівської премії Стокгольм та Осло відвідають майже 200 Нобелівських лавреатів, відбудуться наукові симпозиуми та інші заходи.

2001 року в Стокгольмі була відкрита велика виставка, присвячена природі та суті наукової творчості. Такі виставки відбудуться пізніше і в Осло, а далі Х'юстоні (2003), Нью-Йорку (2004). Усі заходи будуть спрямовані на ще більше зростання престижності Нобелівських церемоній.

За заповітом Нобеля, нагороди в галузі фізики і хемії присуджує Шведська королівська академія наук, нагороди в галузі фізіології і медицини – Королівський інститут у Стокгольмі, нагороди в галузі літератури присуджує Шведська академія у Стокгольмі, премію миру присуджує комітет із п'яти членів, яких вибирає норвезький парламент.

Шведський банк у честь свого 300-річчя 1968 року запропонував заснувати премію в галузі економіки. Після деяких дебатів пропозицію було прийнято і премію з економіки вручають вслід за іншими: Перша премія з економіки пам'яті Альфреда Нобеля була вручена 1969 року.

Як вибирати кандидатів на премію не могли вирішити впродовж майже трьох років. Нарешті на засіданні Королівської ради 29 червня 1900 року було прийнято статут комітету. Спеціальні правила для присудження премії миру для Норвезького нобелівського комітету були прийняті 10 квітня 1905 року.

Процедура висунення кандидатів дуже складна. Право на висунення мають окремі особи, а не колективи. Щоб отримати пропозицію щодо кандидатів на премію миру, проводять консультації з представниками таких наук, як філософія, історія, право, юридичних наук тощо. Пропозиції приймають до 1 лютого щорічно і відтоді розпочинає працювати Нобелівський комітет. Визначити кандидата дуже складно. Висувають часто по

200–250 претендентів. Дуже рідко, коли претендент отримує премію з першого разу, здебільшого його висувають по декілька разів. Інформацію про претендентів на Нобелівську премію зберігають у таємниці. Щорічно в обговоренні беруть участь декілька тисяч осіб. Після підготовчої роботи матеріали передають у відповідні комітети, які і приймають остаточне рішення.

Нагороди присуджують не за доробок ученого впродовж всього життя, а за окреме важливе відкриття чи удосконалення у різних галузях. Сьогодні характер праці учених змінився порівняно з часом, коли жив і працював Нобель. Нині переважає колективна праця учених над тією чи іншою науковою проблемою, і відкриття творять не вчені-одинаки, а наукові колективи. Тому це ускладнює вибір Нобелівському комітету окремих лавреатів. Ще одна проблема присудження премії є те, що непросто оцінити значення того чи іншого відкриття для людства, і часто учені чекають свого визнання багато років, та є випадки, коли претенденти, що не дочекались (Нобелівську премію вручають тільки живим). Трапляються й випадки, коли серед лавреатів з'являються імена й тих, чийі наукові досягнення не такі яскраві, тобто є деяке кон'юнктурність. Однак це не затьмарює престижу Нобелівської премії. Адже дуже складно експертам зробити вибір, на це йде багато часу, та й витрати на ці роботи чималі становлять іноді не менше, як самі премії.

Нобелівський комітет залучає до роботи кваліфікованих експертів із різних країн світу, залучає також фахівців з інших галузях науки. У жовтні у різних асамблеях проходять вибори і оголошують імена лавреатів. На прес-конференції у Стокгольмі, де присутні представники найповажніших



інформаційних агентств представники різних галузей науки і техніки пояснюють причину, чому саме тим чи іншим претендентам вручено цю премію.

Далі Нобелівський комітет запрошує лавреатів і їхніх сім'ї на 10 грудня в Осло і Стокгольм. У церемонії вручення щорічно бере участь майже 1200 осіб. Премії у галузі фізики, хемії, фізіології і медицини, літератури та економіки вручає король Швеції, який і оголошує, які досягнення у світовий прогрес вніс лавреат.

В Осло вручення премії миру проходить у університеті у присутності короля Норвегії і членів королівської сім'ї. За традицією, лавреати виголошують свої лекції, які пізніше публікують у спеціальному виданні „Нобелівські лавреати”.

Нобелівський фонд є недержавною, незалежною організацією. Він займається фінансовими питаннями та діяльністю, пов'язаною з виборами лавреатів, але не бере участі у висуненні претендентів, розгляді їхніх кандидатур та прийнятті рішень. Однак в його обов'язки входить проведення церемонії вручення премій.

Щорічно 10 грудня при церемонії нагородження в Стокгольмі король вручає кожному лавреату диплом і медаль. Премію миру, диплом і медаль вручає лавреатам того ж дня в Осло Голова Норвезького Нобелівського Комітету у присутності Короля Норвегії.

Лицевий бік трьох медалей (фізика і хемія, фізіологія або медицина і література) однаковий із зображенням портрета Альфреда Нобеля, роки народження і смерті написані латиною. Портрет Альфреда Нобеля на медалі Миру і медалі з економіки різний. Напис на зворотньому боці медалі на всіх трьох медалях однаковий. Медаль з економіки немає жодного напису. Кожна медаль виготовлена із золота, важить майже 200 г, діаметром 66 мм.

Зовнішній вигляд Нобелівських медалей не змінювався від 1902 року. До першого вручення премій 1901 року вони не були виготовлені.

Проект трьох медалей виготовив талановитий шведський скульптор Е. Ліндберг, медаль миру – норвезький скульптор Г. Вігеланд.

Багато говорять про те, що сталося з трьома Нобелівськими медалями нобелівських лавреатів з фізики в роки Другої світової війни: медалі німців Макса фон Лау (1914) і Джеймса Франка (1925) та данця Нільса Бора (1922). Інститут професора Н. Бора в Копенгагені був пристановищем для німецьких фізиків-євреїв з 1933 року. Макс фон Лау і Джеймс Франк залишили свої Нобелів-

ські медалі в інституті, щоб заховати їх від конфіскації німецької влади. Після окупації Данії, у квітні 1940 року, вчені запропонували вивезти медалі за кордон. Така ідея не подобалась Н. Борові, оскільки вивіз золота за кордон було заборонено, і на кожній медалі вигравірувано ім'я лавреата, що могло б мати негативні наслідки. Було прийнято рішення розчинити медалі в суміші кислот. Нобелівська медаль Бора була продана анонімному покупцеві для пожертви фонду Фінської допомоги 1940 року. Її було передано Данському Історичному Музеєві, де вони зберігаються й досі. Щодо Нобелівських медалей М. Лау і Д. Франка, в архіві Н. Бора зберігся лист Нільса Бора від 24 січня 1950, про повернення золота Королівській Шведській Академії Наук у Стокгольмі, для цих двох медалей. Королівський комітет прийняв рішення виготовити нові медалі. Професор Франк отримав заново виготовлену медаль під час церемонії в Університеті в Чикаго 31 січня 1952 року.

Сьогодні Нобелівський фонд багатий, його капітал становить понад 430 мільйонів доларів, але мало хто знає, що цей фонд принаймні двічі мав фінансові кризи. Перший раз його врятував Рогнар Сольман, який керував ним. Вдруге фонд переживав фінансову кризу тоді, коли невдало були вкладені кошти в цінні папери. Поправив фінансові справи фонду виконавчий директор фонду Стіг Рамел, який вклав кошти в нерухомість. Багато років Нобелівський фонд сплачував величезні податки у шведську скарбницю. У 1980-х роках шведський уряд звільнив його від сплати податків.

Заповіт А. Нобеля, яким він увесь свій капітал передав на створення фонду, здивував Швецію. Цим заповітом були незадоволені не тільки родичі Нобеля, а й багато шведів, серед них і король Оскар II. Їх обурювало те, що премію отримуватимуть не лише шведи, а, отже, величезні суми відійдуть за кордон.

За заповітом Нобеля фондом мав розпоряджатися А. Сольман, якому тоді було всього 25 років. Призначення Сольмана виконавчим директором фонду було виправдано його професійними якостями – він багато років працював міністерствах фінансів та закордонних справ Швеції. Шведи ніяк не могли усвідомити космополітичних ідеалів Нобеля. Однак Сольман зумів переконати деяких родичів Нобеля і знайти прихильників. І ще впродовж п'яти років премія не присуджувалась. Нарешті Швеція перейнялася цими ідеями і присудження Нобелівської премії стало складовою частиною шведської культури.



Нобелівські премії з фізики за 100 років

1901	Вільгельм Конрад Рентген (Wilhelm Conrad Röntgen)	27.03.1845 – 10.02.1923	за відкриття променів, які пізніше названо його іменем
1902	Пітер Зеєман (P. Zeeman) Гендрік Лоренц (H. Lorentz)	25.05.1865 – 09.10.1943 18.07.1853 – 04.02.1928	за дослідження впливу магнетизму на випромінювання
1903	Антоні Анрі Беккерель (Antoine Henri Becquerel) П'єр К'юрі (Pierre Curie) Марія К'юрі (Marie Curie)	15.12.1852–25.08.1908 15.05.1859–19.04.1906 07.11.1867–04.07.1934	за відкриття спонтанної радіоактивності за дослідження явища радіоактивності, відкритої професором А.Беккерелем
1904	Дж. В. Стретт (лорд Релей) Lord (John B. Strutt) Rayleigh	12.11.1842–30.06.1904	за дослідження густин найпоширеніших газів і за відкриття аргону під час цих досліджень
1905	Філіп Е. Антон фон Ленард (Philipp E. Anton von Lenard)	07.06.1862–20.05.1947	за дослідження катодних променів
1906	Джозеф Джон Томсон (Sir Joseph John Thomson)	18.12.1856–30.08.1940	за теоретичні та експериментальні дослідження електропровідності газів
1907	Альберт А. Майкельсон (Albert Abraham Michelson)	19.12.1852–09.05.1931	за створення прецизійних оптичних інструментів і виконання за їх допомогою спектроскопічних і метрологічних вимірювань
1908	Габріель Ліпман (Gabriel Lippmann)	06.08.1845–02.07.1921	за створення методу кольорової фотографії на основі явища інтерференції
1909	Ґуґльєльмо Марконі (Guglielmo Marconi) Карл Фердінанд Браун (Carl Ferdinand Braun)	25.04.1874–20.07.1937 06.06.1850–20.04.1918	за визнання їхнього внеску у розвиток бездротяної радіотелеграфії
1910	Ян Дідерік Ван-дер-Ваальс (J. Diderik van der Waals)	23.11.1837–8.03.1923	за праці, в яких встановлено рівняння стану газів і рідин
1911	Вільгельм Він (Wilhelm Wien)	13.01.1864–30.08.1928	за відкриття законів теплового випромінювання
1912	Нільс Ґустав Дален (Nils Gustaf Dalén)	30.11.1869–09.12.1937	за створення автоматичних регуляторів, що використовуються разом з газовими акумуляторами для джерел світла на маяках
1913	Хейке Камерлінг-Оннес (Heike Kamerlingh-Onnes)	21.09.1853–21.02.1926	за дослідження властивостей речовини при низьких температурах, що зумовили отримання рідкого гелію
1914	Макс фон Лауе (Max von Laue)	09.09.1879–24.04.1960	за відкриття дифракції рентгенівських променів на кристалах
1915	Вільям Генрі Брег (Sir William Henry Bragg) Вільям Лавренсе Брег (William Lawrence Bragg)	02.07.1862–12.03.1942 31.03.1890–01.07.1971	за заслуги в дослідженні структури кристалів за допомогою рентгенівських променів



1916	Премія не присуджувалась (преміальні кошти за 1916 рік були переведені в Спеціальний фонд секції фізики).		
1917	Чарльз Гловер Баркла (Charles Glover Barkla)	27.06.1877–23.10.1944	за відкриття характеристичного рентгенівського випромінювання елементів
1918	Макс Карл Е. Людвіг Планк (Max Karl Ernst Ludwig Planck)	23.04.1858–04.10.1947	за заслуги у розвитку фізики (відкриття кванта енергії)
1919	Йоханнес Штарк (Johannes Stark)	15.04.1874–12.06.1957	за відкриття ефекту Доплера в каналних променях і розщеплення спектральних ліній в електричних полях
1920	Шарль Едуард Гільом (Charles Edouard Guillaume)	15.02.1861–13.06.1938	за заслуги у фізиці – відкриття аномалій у нікелево-стальних сплавах
1921	Альберт Айнштайн (Albert Einstein)	14.03.1879–18.04.1955	за вагомі здобутки в теоретичній фізиці, і особливо за відкриття закону фотоелектричного ефекту
1922	Нільс Генрік Давід Бор (Niels Henrik David Bohr)	07.10.1885–18.11.1962	за заслуги в дослідженні будови атома
1923	Роберт Е. Міллікен (Robert Andrews Millikan)	22.03.1868–19.12.1953	за праці з визначення елементарного електричного заряду та фотоелектричний ефект
1924	Карл Манне Георг Сігбан (Karl Manne Georg Siegbahn)	03.12.1886–25.09.1978	за дослідження і відкриття в галузі рентгенівської спектроскопії
1925	Джеймс Франк (James Franck)	26.08.1882–21.05.1964	за відкриття законів зіткнення електронів з атомами
	Густав Людвіг Герц (Gustav Ludwig Hertz)	22.07.1887–30.10.1975	
1926	Жан Баптісте Перрен (Jean Baptiste Perrin)	30.09.1870–17.04.1942	за дослідження структури матерії, а саме за відкриття седиментаційної рівноваги
1927	Артур Голлі Комптон (Arthur Holly Compton)	10.09.1892–15.03.1962	за відкриття явища, названого його іменем (ефект Комптона)
	Чарльз Томсон Ресс Вільсон (Charles Thomson Rees Wilson)	14.02.1869–15.11.1959	за метод візуального спостереження траєкторії електрично заряджених частинок за допомогою конденсації пари
1928	Оуен Вільямс Річардсон (Owen Willans Richardson)	26.04.1879–15.02.1959	за дослідження термоелектронної емісії, і особливо за відкриття закону, названого його іменем
1929	Луї де Бройль (Prince Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie)	15.08.1892–19.03.1987	за відкриття хвильової природи електронів
1930	Ч. Венката Раман (Sir Ch. Venkata Raman)	07.11.1888–21.11.1970	за дослідження розсіювання світла і відкриття ефекту названого на його іменем
1931	Премія не присуджувалась (преміальні кошти за 1931 рік були переведені в Спеціальний фонд секції фізики).		
1932	Вернер Карл Гайзенберг (Werner Karl Heisenberg)	05.12.1901–01.02.1976	за створення квантової механіки у матричній формі
1933	Ервін Шредингер (Erwin Schrödinger)	12.08.1887–04.01.1961	за відкриття нових форм атомної теорії
	Поль А. Моріс Дірак (Paul Adrien Maurice Dirac)	08.08.1902–20.10.1984	
1934	Премія не присуджувалась (преміальні кошти за 1934 рік були розподілені так: 1/3 частини – у Головний фонд, 2/3 частини – у Спеціальний фонд секції фізики).		



1935	Джеймс Чедвік (James Chadwick)	20.11.1891–24.07.1974	за відкриття нейтрона
1936	Віктор Франс Гесс (Victor Franz Hess)	24.06.1883–17.12.1964	за відкриття космічних променів
	Карл Д. Андерсон (Carl David Anderson)	03.09.1905–1991	за відкриття позитрона
1937	Клінтон Джозеф Девіссон (Clinton Joseph Davisson)	22.10.1881–01.02.1958	за відкриття дифракції електронів на кристалах
	Дж. П. Томсон (George Paget Thomson)	03.05.1892–10.09.1975	
1938	Енріко Фермі (Enrico Fermi)	29.09.1901–30.11.1954	за доведення існування нових радіоактивних елементів, отриманих під час опромінення нейтронами, і пов'язане з цим відкриття ядерних реакцій, які зумовлюються повільними нейтронами
1939	Ернест О. Лоуренс (Ernest Orlando Lawrence)	08.08.1901–27.08.1958	за створення циклотрона і досягнуті за його допомогою результати, особливо отримання штучних радіоактивних елементів
1940–1942 Премія не присуджувалась (преміальні кошти були розподілені так: 1/3 частини – у Головний фонд, 2/3 частини – у Спеціальний фонд секції фізики).			
1943	Отто Штерн (Otto Stern)	17.02.1888–17.08.1969	за внесок у розвиток методу молекулярних пучків і відкриття та вимірювання магнетного моменту протона
1944	Ісидор Ісаак Рабі (Isidor Isaac Rabi)	29.07.1898–11.01.1988	за застосування резонансного методу для вимірювання магнетних моментів атомних ядер
1945	Вольфганг Паулі (Wolfgang Pauli)	25.04.1890–15.12.1958	за відкриття принципу заборони, який називають принципом Паулі
1946	Персі Вільямс Бріджмен (Percy Williams Bridgman)	21.04.1882–20.08.1961	за винахід приладу, який дає змогу створювати надвисокі тиски, і за відкриття у фізиці високих тисків
1947	Едуард Віктор Епплтон (Sir Edward Victor Appleton)	06.09.1892–21.04.1965	за дослідження верхніх шарів атмосфери, особливо за відкриття так званого шару Еплтона
1948	Патрік М. Стюард Блекетт (Patrick Maynard Stuart Blackett)	18.11.1897–13.07.1974	за удосконалення методу камери Вільсона і зроблені завдяки цьому відкриття в галузі ядерної фізики і космічної радіації
1949	Хідекі Юкава (Hideki Yukawa)	23.01.1907–08.09.1981	за теоретичні праці з природи ядерних сил і передбачення існування мезонів
1950	Сесіл Франк Пауел (Cecil Frank Powell)	05.12.1903–09.08.1969	за розроблення фотографічного методу дослідження ядерних процесів і відкриття мезонів, здійснене за допомогою цього методу
1951	Джон Д. Кокрофт (Sir John Douglas Cockcroft)	27.05.1897–18.09.1967	за праці з перетворення атомних ядер за допомогою штучно прискорених атомних частинок
	Ернест Томас Сінтон Волтон (Ernest Thomas Sinton Walton)	06.10.1903 р. н.	



1952	Фелікс Блох (Felix Bloch)	23.10.1905–10.09.1983	за розвиток методів для точних ядерних магнетних вимірювань і за відкриття ядерного магнетного резонансу
	Едуард Мілс Перселл (Edward Mills Purcell)	30.08.1912–1997	
1953	Фріц Фредерік Церніке (Frits (Frederik) Zernike)	16.07.1888–10.03.1966	за обґрунтування фазово контрастного методу, особливо за винахід фазово-контрастного мікроскопа
1954	Макс Борн (Max Born)	11.12.1882–05.01.1970	за фундаментальні дослідження з квантової механіки, особливо за статистичну інтерпретацію хвильової функції
	Вальтер В. Георг Боте (Walther W. Georg Bothe)	08.06.1891–08.02.1957	за створення методу збігів для аналізу космічної радіації
1955	Вілліс Е. Лемб (Willis Eugene Lamb)	12.07.1913 р. н.	за відкриття тонкої структури спектра водню
	Полікарп Куш (Polykarp Kusch)	26.01.1911–1993	за точне визначення магнетного моменту електрона
1956	Вільям Брандфорд Шоклі (William Bradford Shockley)	13.02.1910–12.08.1989	за дослідження напівпровідників і відкриття транзисторного ефекту
	Джон Бардін (John Bardeen)	23.05.1908–1901	
	Волтер Гоузер Браттейн (Walter Houser Brattain)	10.02.1902–13.10.1987	
1957	Чен Нінг Янг (Chen Ning Yang)	22.09.1922 р. н.	за дослідження законів симетрії, яке призвело до важливих відкриттів у фізиці елементарних частинок
	Цзунг-Дао Лі (Tsung-Dao Lee)	25.11.1926 р. н.	
1958	Павло Черенков (Pavel Cherenkov)	28.07.1904–06.01.1990	за відкриття і тлумачення ефекту Черенкова
	Ілля Франк (Il'ja Frank)	23.10.1908–22.06.1990	
	Ігор Тамм (Igor Tamm)	08.07.1895–12.04.1971	
1959	Еміліо Сегре (Emilio Gino Segri)	01.02.1905–22.04.1989	за відкриття антипротона
	Оуен Чемберлен (Owen Chamberlain)	10.07.1920 р. н.	
1960	Доналд Артур Глазер (Donald Arthur Glaser)	21.09.1926 р. н.	за винахід бульбашкової камери
1961	Роберт Гофстедтер (Robert Hofstadter)	05.02.1915 –1990	за основоположні дослідження розсіяння електронів на атомних ядрах і пов'язані з ними відкриття структури нуклонів
	Рудольф Людвіг Мессбауер (Rudolf Ludwig Mössbauer)	31.01.1929 р. н.	
1962	Лев Ландау (Lev Landau)	22.08.1908–01.04.1968	за фундаментальні теорії конденсованої матерії, і особливо рідкого гелію



1963	Евген Пауль Вігнер (Eugene Paul Wigner)	17.11.1902–1995	за вагомий внесок у теорію атомного ядра та елементарних частинок, особливо за відкриття і застосування фундаментальних принципів симетрії
	Марія Гйорерт-Майер (Maria Goeppert-Mayer)	28.06.1906–20.02.1972	
	Йоханнес Ганс Д. Йенсен (J. Hans D. Jensen)	25.06.1907–11.02.1973	за відкриття оболонкової структури ядра
1964	Чарлз Г. Тавнс (Charles Hard Townes)	28.07.1915 р. н.	за фундаментальні дослідження в галузі квантової електроніки, що привели до створення генераторів і підсилювачів нового типу – лазерів і мазерів
	Микола Басов (Nicolay Basov)	14.12.1922– 2000	
	Олександр Прохоров (Aleksandr Prokhorov)	11.07.1916–2001	
1965	Сінъ-Ітіро Томонага (Sin-Itiro Tomonaga)	31.03.1906–08.07.1979	за фундаментальні праці з квантової електродинаміки, що мають важливе значення для фізики елементарних частинок
	Джуліан Швінгер (Julian Schwinger)	12.02.1918–1994	
	Річард Ф. Фейнман (Richard P. Feynman)	11.05.1918–15.02.1988	
1966	Альфред Кастлер (Alfred Kastler)	03.05.1902–07.01.1984	за відкриття і розроблення оптичних методів дослідження резонансів Герца в атомах
1967	Ганс Альбрехт Бете (Hans Albrecht Bethe)	02.07.1906 р. н.	за внесок у теорію ядерних реакцій, особливо за відкриття, які стосуються джерел енергії зір
1968	Луїс В. Альварес (Luis Walter Alvarez)	13.06.1911–01.09.1988	за видатний внесок у фізику елементарних частин, зокрема за відкриття великої кількості резонансів, що стало можливим завдяки техніці, яку він розробив з використання бульбашкової камери
1969	Маррі Гелл-Манн (Gell-Mann)	15.09.1929 р. н.	за відкриття, пов'язане з класифікацією елементарних частинок та їх взаємодій
1970	Ганнес Альфвен (Hannes Olof Gösta Alfvén)	30.05.1908 –1995	за фундаментальні праці та відкриття в магнетній гідродинаміці та їх застосування у фізиці плазми
	Луї Е. Фелікс Неель (Louis Eugène Félix Néel)	22.11.1904 р. н.	за фундаментальні праці, що стосуються антиферромагнетизму та ферромагнетизму, які знайшли застосування у фізиці твердого тіла
1971	Деніс Габор (Dennis Gabor)	05.06.1900–09.02.1979	за відкриття і розроблення голографічного методу
1972	Джон Бардін (John Bardeen)	23.05.1908–1991	за створення теорії надпровідності, яку зазвичай називають БКШ-теорією
	Леон Нейл Купер (Leon Neil Cooper)	28.02.1930 р. н.	
	Джон Роберт Шриффер (John Robert Schrieffer)	31.05.1931 р. н.	



1973	Лео Есакі (Leo Esaki) Айвар Джайєвер (Ivar Giaever) Брайан Д. Джозефсон (Brian David Josephson)	12.03.1925 р. н. 05.04.1929 р. н. 4.01.1940 р. н.	за експериментальне відкриття явища тунелювання у твердих тілах за теоретичне передбачення властивостей струму, що проходить через тунельний бар'єр, зокрема явищ, відомих тепер як ефект Джозефсона
1974	Мартін Райл (Sir Martin Ryle) Ентоні Г'юїш (Antony Hewish)	27.09.1918–16.10.1984 11.05.1924 р. н.	за піонерські праці в галузі астрономії, особливо за праці з апертурного аналізу новаторські дослідження в радіоастрофізиці, за відкриття пульсарів
1975	Оге Нільс Бор (Aage Niels Bohr) Бенжамін Р. Моттelson (Ben Roy Mottelson) Л. Джеймс Рейнвотер (Leo James Rainwater)	19.06.1922 р. н. 09.07.1926 р. н. 09.12.1917–31.05.1986	за відкриття взаємозв'язку між колективним рухом і рухом окремої частинки у атомному ядрі і розвиток теорії будови атомного ядра, які ґрунтуються на цій взаємодії
1976	Бертон Ріхтер (Burton Richter) Семюел Ч. Ч. Тінг (Samuel Chao Chung Ting)	22.03.1931 р. н. 27.01.1936 р. н.	за відкриття важкої елементарної частинки нового типу
1977	Філіп В. Андерсон (Philip Warren Anderson) Невілл Френсіс Мотт (Sir Nevill Francis Mott) Джон Гасбрук ван Флек (John Hasbrouck van Vleck)	13.12.1923 р. н. 30.09.1905–1996 13.03.1899–27.10.1980	за фундаментальні теоретичні дослідження електронної структури магнетних і неупорядкованих структур
1978	Петро Капиця (Pyotr Kapitsa) Арно Аллан Пензіас (Arno Allan Penzias) Роберт В. Вільсон (Robert Woodrow Wilson)	09.07.1894–08.04.1984 26.04.1933 р. н. 10.01.1936 р. н.	за фундаментальні винаходи і відкриття у фізиці низьких температур за відкриття мікрохвильового реліктового випромінювання
1979	Шелдон Лі Глешоу (Sheldon Lee Glashow) Абдус Салам (Abdus Salam) Стевен Вайнберг (Steven Weinberg)	05.12.1932 р. н. 29.01.1926–1996 1933 р. н.	за внесок у загальну теорію слабких та електромагнетних взаємодій між елементарними частинами, зокрема за передбачення слабких нейтральних струмів
1980	Джеймс Ватсон Кронін (James Watson Cronin) Вал Логсдон Фітч (Val Logsdon Fitch)	29.09.1931 р. н. 10.03.1923 р. н.	за відкриття порушень фундаментальних принципів симетрії при розпаді нейтральних К-мезонів
1981	Ніколас Бломберген (Nicolaas Bloembergen) Артур Леонард Шавлов (Arthur Leonard Schawlow) Кай М. Сігбан (Kai M. Siegbahn)	11.03.1920 р. н. 05.05.1921–1999 20.04.1918 р. н.	за внесок у розвиток лазерної спектроскопії за розвиток електронної спектроскопії високого розділення



1982	Кеннет Г. Вільсон (Kenneth G. Wilson)	08.06.1936 р. н.	за теорію критичних явищ у зв'язку з фазовими переходами
1983	Вільям Альфред Фаулер (William Alfred Fowler)	09.08.1911–1995	за теоретичне й експериментальне дослідження ядерних реакцій, які мали важливе значення при створенні Всесвіту
	Субраманьян Чандрасекар (Subramanyan Chandrasekhar)	19.10.1910–1995	за теоретичне дослідження фізичних процесів, які важливі для будови та еволюції зір
1984	Симон ван дер Мер (Simon van der Meer)	24.11.1925 р. н.	за вирішальний внесок у великий проєкт, здійснення якого призвело до відкриття частинок які переносять слабку взаємодію
	Карло Руббі (Carlo Rubbia)	31.03.1934 р. н.	
1985	Клаус фон Клітцинг (Klaus von Klitzing)	28.05.1943 р. н.	за відкриття квантового ефекту Холла
1986	Ернст Руска (Ernst Ruska)	25.12.1906–27.05.1988	за фундаментальні праці з електронної оптики та за створення електронного мікроскопа
	Герд Бінніг (Gerd Binnig)	20.07.1947 р. н.	за винахід сканувального тунельного мікроскопа
	Гайнріх Рорер (Heinrich Rohrer)	06.06.1933 р. н.	
1987	Йоганнес Георг Беднорц (J. Georg Bednorz)	16.05.1950 р. н.	за відкриття у галузі надпровідності керамічних матеріалів
	Карл Олександр Мюллер (K. Alexander Müller)	20.04.1927 р. н.	
1988	Леон Ледерман (Leon M. Lederman)	15.07.1922 р. н.	за відкриття мюонного нейтрино
	Мелвін Шварц (Melvin Schwartz)	1932 р. н.	
	Джек Стейнбергер (Jack Steinberger)	1925 р. н.	
1989	Норман Рамзей (Norman F. Ramsey)	27.08.1915 р. н.	за розроблення методу сепарації (розділення) молекулярних та атомних пучків і використання їх у водневому квантовому генераторі та інших атомних еталонах часу
	Ганс Дегмелт (Hans G. Dehmelt)	1922 р.н.	
	Вольфганг Пауль (Wolfgang Paul)	10.08.1913–1993	за розроблення методу йонної пастки і його застосування в еталонах часу
1990	Джероум Фрідман (Jerome I. Friedman)	28.03.1930 р. н.	за дослідження глибоко непружного розсіяння електронів на нуклонах, які дали змогу встановити структуру нуклонів та експериментально підтвердити існування кварків
	Генрі Кендал (Henry W. Kendall)	09.12.1926–1999	
	Річард Тейлор (Richard E. Taylor)	02.11.1929	
1991	П'єр-Жілл де Женні (Pierre-Gilles de Gennes)	1932 р. н.	за відкриття того, що методи розроблені для дослідження явищ впорядкування у простих системах можуть бути узагальнені для складніших форм матерії, таких як рідкі кристали та полімери
1992	Жорж Шарпак (Georges Charpak)	01.08.1924 р.н.	за винахід та вдосконалення детекторів частинок – багатодротинкової пропорційної камери



1993	Рассел Гале (Russell A. Hulse) Джозеф Тейлор (Joseph H. Taylor, Jr.)	28.11.1950 р. н. 29.03.1941 р. н.	за відкриття нового типу пульсарів і нових можливостей вивчення гравітації
1994	Бертрам Брокгауз (Bertram N. Brockhouse) Кліффорд Шул (Clifford G. Shull)	15.07.1918 23.09.1915–2001	за розвиток нейтронної спектроскопії за розвиток методу дифракції нейтронів
1995	Мартін Перл (Martin L. Perl) Фредерік Рейнс (Frederick Reines)	1920 р. н. 16.03.1918–1998	за перші експериментальні дослідження у фізиці лептонів, відкриття τ -лептона за перші експериментальні дослідження фізики лептонів, за детектування нейтрино
1996	Девід Лі (David M. Lee) Дуглас Ошероф (Douglas D. Osheroff) Роберт Річардсон (Robert C. Richardson)	20.01.1931 р. н. 1945 р. н. 26.06.1937 р. н.	за відкриття надплинності в рідкому ^3He
1997	Стівен Чу (Steven Chu) Клод Коен-Тануджі (Claude Cohen-Tannoudji) Вільям Д. Філіпс (William D. Phillips)	1948 р. н. 01.04.1933 р. н. 05.11.1948 р. н.	за розроблення методів охолодження та локалізації атомів лазерним випромінюванням
1998	Роберт Лауглін (Robert B. Laughlin) Горст Стермер (Horst L. Störmer) Даніель Чу (Daniel C. Tsui)	01.11.1950 р. н. 06.04.1949 р. н. 1939 р. н.	за відкриття нової форми квантової рідини
1999	Герардуст Гуфт (Gerardus 't Hooft) Мартін Велтман (Martinus J.G. Veltman)	1946 р. н. 27.06.1931 р. н.	за пояснення квантової структури електро-слабких взаємодій у фізиці
2000	Жорес Алфьоров (Zhores Alferov) Герберт Кремер (Herbert Kroemer) Джек Кілбі (Jack S Kilby)	1930 р. н. 1928 р. н. 1923 р.н.	за фундаментальні праці в галузі інформатики та комунікаційних технологій, за розвиток напівпровідникових гетероструктур, які використовують у високошвидкісній оптоелектроніці за фундаментальні роботи в інформатиці та комунікаційній технології, за дослідження в галузі інтегральних мікросхем
2001	Ерік Корнел (Eric A. Cornell) Вольфганг Кетерлі (Wolfgang Ketterle) Карл Віман (Carl F. Wieman)	1961 р. н. 1957 р. н. 1951 р. н.	за досягнення Бозе-Айнштайна конденсата в розріджених газах лужних металів і попередні фундаментальні дослідження властивостей конденсатів

Галина Шопя



Шведська Королівська академія наук присудила Нобелівську премію з фізики 2001 року докторові Карлові Віману із Колорадського університету (США) і докторові Еріку Корнелу із Національного інституту стандартів (США) та німецькому фізику Вольфгангу Кетерли з Масачусетського технологічного інституту за отримання конденсату Бозе-Айнштайна.

Їхні досягнення ґрунтуються на методах фотонного охолодження, які започаткували Нобелівські лавреати 1997 року.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

1997



Стівен Чу



Вільям Д. Філіпс



К. Коен-Тануджі

На шляху до абсолютного нуля температур

Нобелівську премію з фізики 1997 року отримали Стівен Чу (Steven Chu) професор Стенфордського університету (США), професор Колеж де Франс (Франція) Клод Коен-Тануджі (Claude Cohen-Tannoudji) та доктор Вільям Д. Філіпс (William D. Phillips) із Національного інституту стандартів та технології з м. Гайсербург (США) за розроблення методів охолодження та локалізації атомів лазерним випромінюванням.

С. Чу народився 1948 року в С. Луї у сім'ї вихідців із Китаю. Його батько був професором у Бруклінському політехнічному інституті. Він говорив: „Я та мої брати були народжені для наукової кар'єри. Всі наші родичі мали наукові ступені.” І зрозуміло, що наступні покоління Чу мали дотримуватись традиції сім'ї. Уже в шкільні роки в нього сформувався інтерес до творчої експериментальної діяльності. Він займався моделюванням, ставив хемічні та фізичні досліди. Згодом закінчив університет у Рочестері та аспірантуру в Берклі. З 1978 року працював у науково-дослідних лабораторіях фірми Белл, з 1987 року працює в Стенфордському університеті.

Вільям Д. Філіпс народився 1948 року в м. Вілкс-Барре (штат Пенсильванія) у родині, що має італійське коріння. 1966 року вступив у ко-

ледж, продовжив освіту в Масачусетському технологічному інституті. 1976 року захистив докторську дисертацію, із 1978 року працює в Національному інституті стандартів та технології.

К. Коен-Тануджі народився 1933 року в Алжирі. Після закінчення середньої школи 1953 року вступив у Еколь Нормаль Суперієр у Парижі. 1960 року розпочав наукову роботу, займався теорією взаємодії атомів з фотонами. 1973 року – професор у Колеж де Франс. Із 1984 року розпочав експериментальні дослідження з фотонного охолодження.

Нові методи дослідження, які започаткували і здійснили Нобелівські лавреати з фізики 1997 року, значно поглибили розуміння взаємодії світла з речовиною, квантової поведінки газів та зробили наступний крок у досягненні все нижчих і нижчих температур. Ці дослідження відкрили перспективу для створення ще точніших атомних годинників.

Ще зі шкільної лави ми знаємо що речовина перебуває в газоподібному, рідкому та твердому станах. Речовина в цих станах має різну щільність (густину), різний характер руху найменших структурних елементів речовини (атомів чи молекул), а це здебільшого визначає інші фізичні властивості речовини. Атоми (молекули) весь час перебувають у тепловому русі, мірою цього руху є температура. Молекули (атоми) газу здійснюючи тепло-



вий рух, хаотично рухаються з великими швидкостями. Наприклад, молекули азоту за кімнатної температури мають швидкість 500 м/с, а водню – майже 2000 м/с. Тому досі науковці не мали змоги дослідити кожну молекулу (атом) зокрема, оскільки в газах вони майже миттєво зникають з поля зору приладів, а в рідкій та твердій фазах, вони дуже близько один від одного, і їхні властивості вже відмінні від властивостей ізольованого атома чи молекули. Охолоджуючи гази, ми матимемо змогу зменшити швидкості їхніх молекул, однак навіть за температури -270°C атоми (молекули) матимуть швидкість майже 100 м/с і тільки охолоджуючи гази до температури абсолютного нуля (-273°C) ми справді спостерігатимемо суттєве зменшення їхньої швидкості. Коли температура дорівнюватиме лише одній мільйонній градуса ($1\ \mu\text{K}$), вільні атоми водню рухатимуться зі швидкістю, меншою ніж 25 см/с.

Зазвичай, знижуючи температуру газів, ми спочатку переводимо їх у рідинну, а згодом і у тверду фазу. Щоб охолодити саме газ до дуже низьких температур, потрібно уникнути його конденсації і замороження, а це можливо, якщо охолодження відбуватиметься у вакуумі, де концентрація частинок мала, віддалі між частинками такі великі, що взаємодія між ними не виявляється. Однак тут повстає нова проблема, як охолодити такий сильно розріджений газ.

Це завдання розв'язали учені, які стали лавреатами Нобелівської премії з фізики 1997 року. Вони застосували лазерне випромінювання, щоб охолодити розріджений газ до температур, близьких до абсолютного нуля, і розробили методи втримання охолоджених атомів у пастках різних видів.

Ми знаємо, що лазери є особливими джерелами світла, які, на відміну від інших джерел, випромінюють когерентні світлові хвилі, тобто такі, які мають однакову частоту і початкову фазу. Ці властивості вони мають завдяки індукованому випромінюванню активного середовища та застосуванню спеціальних оптичних резонаторів. Знаємо, незважаючи на те, що світло є електромагнетною хвилею дуже малої довжини, закони його випромінювання у вигляді окремих порцій (квантів) енергія яких пропорційна частоті, дає змогу розглядати світло як потік квазічастинок (фотонів). Фотони не мають маси спокою, завжди рухаються з дуже великою швидкістю, мають енергію, та

імпульс. Червоне світло складається з фотонів, які мають меншу енергію та імпульс, ніж фотони, з яких складається синє світло.

Світло, яке поглинає речовина, поглинають атоми, в яких енергія між деякими енергетичними рівнями дорівнює енергії фотонів. Якщо атом рухається, то частота фотона, який поглинає атом, залежить від швидкості та напрямку його руху, завдяки ефектові Доплера.

Якщо атом рухається назустріч фотонам, то частота кванта, що поглинатиметься, мусить мати меншу частоту, ніж для стаціонарного атома. Поглинаючи такий фотон, атом сприймає його енергію та імпульс, переходить у збуджений стан і трохи сповільниться, оскільки фотон і атом рухались назустріч. Після дуже короткого проміжку часу атом релаксує, переходить зі збудженого стану в основний, випромінюючи квант світла. Лазерне випромінювання – дуже інтенсивний потік (понад 10^{15} квантів/см²·с) фотонів однакової частоти. Взаємодія їх з атомами, які поглинають і випромінюють такі кванти, змінює імпульс атомів (отже і швидкість), діє на атом подібно як в'язке середовище на тіла, що в ньому рухаються. Постійно поглинаючи і випромінюючи фотони, атом весь час сповільнюватиметься, тобто газ, що складатиметься з таких атомів, охолоджуватиметься. Така очевидна і зрозуміла для більшості фізиків взаємодія атомів з випромінюванням, дала змогу вченим створити новий метод охолодження.

Стівен Чу, який тоді працював у лабораторіях Белл у Галмдел (штат Нью-Джерсі), та його колеги 1985 року застосували шість лазерних променів, направлених попарно назустріч один одному в трьох взаємно перпендикулярних напрямках. У точку, де перетинались всі промені, вони направили атомарний пучок натрію. Випромінювання всіх лазерів було зміщене в довгохвильовий бік, порівняно з характеристичним випромінюванням атомів натрію, і тому куди б не рухався атом, зазнаючи зіткнень з іншими атомами, він завдяки ефектові Доплера поглинав тільки зустрічні фотони, які його сповільнювали. Внаслідок такої дії лазерного випромінювання та геометрії досліду, згусток охолоджених атомів збирався у точці перетину лазерних променів. Межа, до якої можна охолодити атоми доплерівським охолодженням, визначається імпульсом фотона, що поглинається атомом.

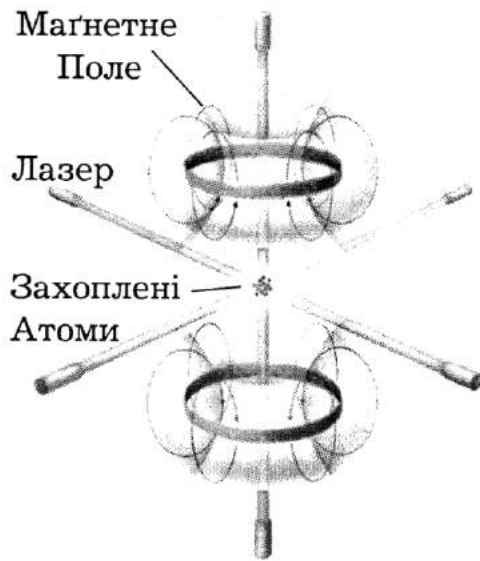


Схема експерименту з лазерного сповільнення атомів

Щоб виміряти температуру, до якої охолоджені атоми, вчені вимкнули лазери і спостерігали, з якою швидкістю рухаються охолоджені атоми. Було встановлено, що їхня швидкість дорівнювала майже 30 см/с, а температура – 240 μK . Це добре узгоджувалось з теоретичними уявленнями про найнижчу температуру, яку можна досягти доплерівським охолодженням атомів натрію. Вже в перших експериментах з'ясувався вплив сили тяжіння на охолоджені атоми. Під дією цієї сили вони вже через секунду випадали із світлового потоку. Щоб стабільно утримувати охолоджені атоми, потрібні були досконаліші методи. І ці методи були створені 1987 року та отримали назву – метод магнето-оптичної пастки.

Цей метод полягає в тому, що поряд з шістьма лазерними променями, як у попередніх експериментах, вчені застосували дві магнетні котушки, які створили малоградієнтне магнетне поле, з мінімумом індукції на ділянці перетину лазерних променів. Магнетне поле, діючи на енергетичні рівні атома, розщеплює їх (ефект Зесмана) і зумовлює силу, спрямовану в точку перетину променів, яка переважає силу земного тяжіння. Завдяки цим вдосконаленням ученим вдалось локалізувати в точці перетину лазерних променів охолоджені атоми, і отримати змогу вивчати ці атоми.

С. Чу також сконструював „атомний фонтан”, в якому охолоджені лазерним випромінюванням атоми випаровувались з пастки подібно до струменів води у фонтані. Досягнувши вершини своєї траєкторії, атоми падали в пастку, щоб знову за деякий час вилетіти з неї.

Магнетні пастки вже з початку 1980-х років застосовував В. Філіпс та його співробітники для сповільнення та повної зупинки атомів із малоенергетичних атомних пучків. І коли вони дізнались про експерименти, які провів С. Чу з охолодження атомів світловим потоком, то розпочали подібні експерименти і провели систематичні дослідження температури атомів у магнето-оптичних пастках. Учені розробили нові методи визначення температури. Один з яких ґрунтувався на визначенні параметрів руху атомів під дією сили тяжіння. Крива падіння атомів визначалась за допомогою спеціального вимірювального лазера.

В. Філіпс 1988 року встановив, що в магнето-оптичних пастках атоми можуть бути охолоджені до 40 μK , а ця температура є в шість разів нижча за межу доплерівського охолодження. Для атомів натрію ця межа становить 240 μK , а для важчих атомів цезію – 200 μK .

Пізніше К. Коуен-Тануджі з дослідниками із Колеж де Франс показав, що атоми які потрапили в магнето-оптичну пастку групуються в періодичну структуру на віддалі довжини хвилі один від одного. Атоми в такій оптичній ґратці можуть бути охолоджені до температури, яка в п'ять разів нижча за межу доплерівського охолодження.

Однак навіть за таких низьких температур атоми мають змогу поглинати і випромінювати фотони, це зумовлюватиме, що атоми все ж таки матимуть швидкість, хоч і дуже малу. Тому газ, що складається з таких атомів, має температуру і відповідний цій температурі розподіл за швидкостями. Наступний крок до досягнення абсолютного нуля температур вдалось би здійснити, якби самі повільні атоми в цьому розподілі перестали поглинати і випромінювати фотони.

Методи, що давали змогу перевести атоми в такий „темний” стан, були відомі, однак їх слід було узгодити з методом доплерівського охолодження. Клод Коуен-Тануджі та його співробітники, експериментуючи з атомами гелію, впродовж 1988–1995 років працювали над розроб-



ленням методів, що ґрунтуються на ефекті доплерівського охолодження і переведенні найповільніших атомів у „темний” стан. У їхніх перших експериментах два лазерні промені формували одновимірний розподіл атомів за швидкостями, він відповідав температурі 2 μK . Із чотирма лазерними установками і двовірним розподілом атомів за швидкостями учені досягли температури 0,25 μK , шість лазерів і тримірний розподіл дали змогу отримати температуру 0,18 μK . За цієї температури атоми гелію мають швидкість лише 2 см/с. Так учені здолали ще один бар’єр на шляху досягнення абсолютного нуля температур!

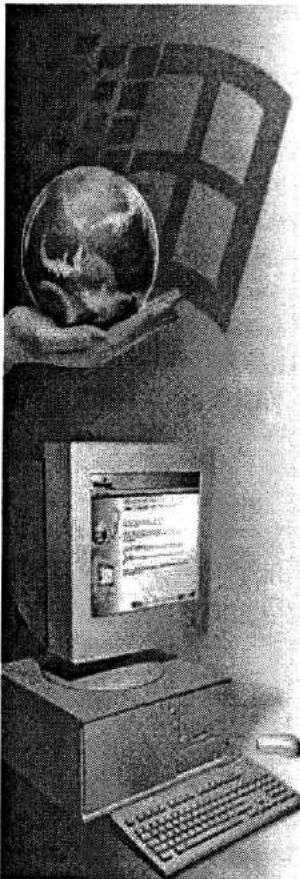
Дослідники розробляли свої методики охолодження атомів роками і результатом цих пошуків стало небачене досі наближення до абсолютного нуля температур. Одним із практичних результатів

цього стало можливим створення точніших атомних годинників. Сильно охолоджені атоми випромінюють фотони із настільки стабільною частотою, що це може бути еталоном часу у новітніх атомних годинниках. Вони будуть у 100–1000 разів точніші за сучасні атомні годинники і робитимуть помилку 1 с за мільйон років! А це гарантуватиме точніше визначення координат як у геодезії, так і в космічній навігації. Ця технологія також привела до створення Бозе-Айнштайнівського конденсату: атоми настільки охолоджені, що поводяться у незвичний колективний спосіб.

„Це дещо таке, що люди, які вирости і живуть у звичному макроскопічному світі, не можуть собі уявити, – зазначив С. Чу, – чесно кажучи, – додав він, – і ми, фізики, що вирости в макросвіті, теж не можемо достеменно цього зрозуміти”.

Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук

Новини з ІНТЕРНЕТУ



Найближчим часом астрономи, аматори і школярі всієї земної кулі матимуть змогу використовувати результати астрономічних спостережень, зроблених за допомогою і наземних, і космічних телескопів. Таку можливість їм забезпечить створення так званої віртуальної обсерваторії, що очолить астроном з університету Джонса Гопкінса в Балтіморі Алекс Салей та учений-комп’ютерник із Каліфорнійського технологічного інституту Пол Мессіна. Ця обсерваторія одержуватиме, систематизуватиме й аналізуватиме дані з Інтернету, які постійно надходять від телескопів, розташованих у різних країнах і на навколосезних орбітах.

У Великобританії розроблений просвітлюючий пристрій, здатний значно підвищити безпеку повітряних сполучень. Мова йде про так звані міліметровхвильові камери, що знаходять, наприклад, керамічні ножі, які гостріші за бритви, і особливі види вибухівки, які деколи використовують терористи, та які не можуть виявити звичайними металопукачами, встановленими в аеропортах. Нові камери працюють так швидко, що потік пасажирів майже не потрібно затримувати, водночас як за допомогою звичайної апаратури перевіряють лише 16–17 пасажирів за хвилину.

Міліметрова технологія ґрунтується на термічному розпізнаванні зображень, що досі застосовували лише солдати і пілоти для поліпшення видимості в тумані й у хмарах. Нові камери вже пройшли успішні випробування в Евротунелі, що сполучає Англію з Францією.

ТРИ ПІВКОЛА І ТРИ ПАРАБОЛИ

Олег Орлянський,

доцент кафедри теоретичної фізики
Дніпропетровського національного університету

Відомо, що на уроках фізики математиці приділяється значно більше уваги, ніж на уроках математики фізиці. Розв'язування фізичних задач вимагає знання векторів, тригонометрії, геометрії, вміння працювати з системами рівнянь і нерівностей, знання похідних, первісних тощо. Водночас математичні задачі формують, зазвичай, у підкреслено абстрактній формі, і тільки іноді надають їм ознак, які відображають властивості навколишнього світу. Це має свою логіку, але величину дистанції між шкільними математичними задачами і реальністю все ж таки потрібно скорочувати, щоб юні математики розуміли, де, як і для чого можна застосовувати знання, засвоєні на уроках математики.

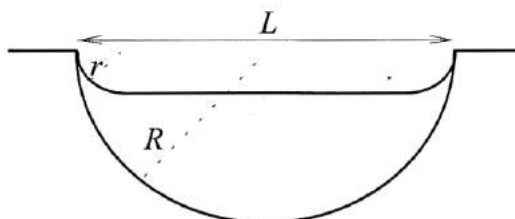
Так чи інакше, а на осінньому святі юних фізиків, хеміків, біологів і математиків – відкритій комплексній олімпіаді Рішельєвського ліцею – традиція залишилася незмінною. Математичні задачі (з вишуканими лаконічними умовами) апелювали тільки до чистого розуму, а фізичні – до розуміння фізичних ідей і доброго володіння математикою. Серед задач з фізики чотири мали чітку геометричну постановку. Їхні умови і розв'язки пропонуємо читачам „Світу фізики”. Автор сподівається, що ознайомившись з умовами, Ви спробуєте самостійно розв'язати ці задачі і лише після цього порівняєте свій розв'язок з авторським.

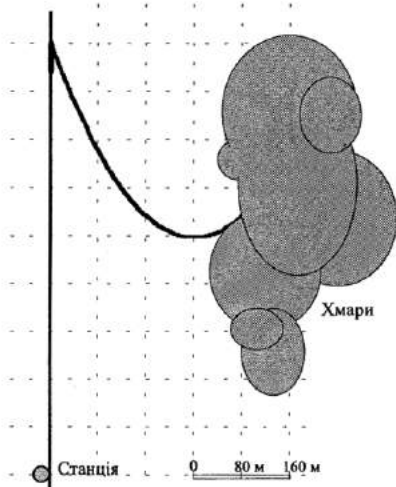
Умови задач

Задача 1. Підземний транспорт

Щоб покласти край запізненню студентів на лекції, на засіданні Студентського наукового товариства було вирішено між гуртожитком і навчальним корпусом (відстань між якими $L = 4$ км один від одного на однаковій висоті над рівнем моря) закласти тунель у формі півкола, відкачати з нього повітря і обладнати надгладкими стінками. Контейнер зі студентом опускають у тунель, під дією сили тяжіння він першу половину шляху прискорюється, а другу – зменшує свою швидкість до нуля у кінцевій точці. Згодом з'ясувалося, що з

товщею граніту на глибині 500 метрів зумовлює додаткові видатки, які виходять за межі студентських стипендій. З'явився альтернативний проєкт, за яким будується тунель, що складається з двох однакових чвертей кола (радіусом $r = 500$ метрів), сполучених горизонтальною ділянкою (див. рис.). Однак час руху збільшився. Збережіть студентські гроші й доведіть, що збільшення часу не таке вже й суттєве, визначіть також наскільки тривалішою буде подорож на лекцію й назад за новим проєктом порівняно з подорожжю в один кінець у попередньому проєкті?





Задача 2. Дзига

Симетрична дзига, що обертається навколо вертикальної осі симетрії, переміщується горизонтальною поверхнею стола до його краю зі швидкістю $v = 5$ см/с, після чого зісковзує та вільно падає. Під час падіння вісь обертання залишається вертикальною, а поверхня дзиги весь час торкається краю стола, немов ковзаючи по ньому. Визначіть форму поверхні дзиги. Будь-який переріз дзиги площиною, що перпендикулярна осі симетрії – коло. Впливом повітря на рух дзиги знехтуйте.

Задача 3. Паровоз і дим

Паровоз вирушив зі станції дві хвилини тому із сталим прискоренням прямою колією у північному напрямку. Димовий слід має форму кривої, що зображена на рисунку (вид зверху). Визначіть напрямок та величину швидкості вітру та запишіть рівняння кривої у декартовій системі координат, вибравши початок відліку у точці перебування паровоза.

Задача 4. Коефіцієнт заломлення

В атмосфері деякої планети світлові промені поширюються по параболах. Визначіть, як залежить коефіцієнт заломлення атмосфери від висоти. Під яким кутом до горизонту потрібно спрямувати промінь з поверхні планети, щоб дальність його поширення була найбільшою? (Промінь повертається на поверхню). Вважайте висоту атмосфери $h \ll R$, де R – радіус планети, $h = 50$ км, коефіцієнт заломлення атмосфери на поверхні $n_0 = 1,1$.

На олімпіаді в Одесі умова задачі була дещо спрощена. Не потрібно було визначати залежність коефіцієнта заломлення атмосфери від висоти.

Розв'язки

Задача 1. Підземний транспорт

Позначмо час спуску контейнера до найнижчої точки кола через t . Від чого може залежати t ? Від прискорення вільного падіння g , радіуса кола R і, можливо, від маси тіла m . Тобто якою б не була остаточна формула, комбінація g , R і m повинна мати розмірність часу. Єдина така комбінація $t = C\sqrt{R/g}$, де C – деяка невідома стала. Час підйому, як і час спуску також буде t , тоді час руху вздовж всього півкола радіусом R дорівнює $t_1 = 2C\sqrt{R/g}$. У другому випадку, крім часу спуску і підйому $2C\sqrt{R/g}$, треба врахувати час руху по прямолинійній дільниці зі сталою швидкістю

$$v = \sqrt{2gr}, \text{ тобто час } \frac{L-2r}{\sqrt{2gr}}.$$

Отже, маємо $t_2 = 2C\sqrt{\frac{r}{g}} + \frac{L-2r}{\sqrt{2gr}}$. Тоді час, потрібний для подорожі в обидва кінці, у другому випадку буде більший за час подорожі в один кінець у першому випадку на

$$\begin{aligned} \Delta t &= 2t_2 - t_1 = 2 \cdot 2C\sqrt{\frac{r}{g}} + \frac{L-2r}{\sqrt{2gr}} - 2C\sqrt{\frac{R}{g}} = \\ &= 2C\sqrt{\frac{r}{g}} \cdot 2 - \sqrt{\frac{R}{g}} + \sqrt{\frac{2r}{g}} \frac{L}{r} - 2 \end{aligned}$$

Враховуючи, що $R = L/2$, $r = L/8$, знаходимо, що остаточна відповідь не залежить від сталої C і дорівнює $\Delta t = 3\sqrt{L/g} = 1$ хвилину. За умовою задачі час подорожі в один кінець у другому проекті

збільшився порівняно з першим проектом, тобто $t_2 > t_1 = 2t_2 - \Delta t$, звідкіля знаходимо, що $t_2 < \Delta t$. В обох випадках час подорожі не перевищує однієї хвилини.

Зазначмо, що $C = 1,854$, і час, за який можна переміщати вантажі на 4 км по горизонталі, вздовж гладкого тунелю у вигляді півкола, не витрачаючи жодного джоуля енергії на надання початкової швидкості, дорівнює всього 53 секунди (півперіоду коливань математичного маятника завдовжки 2 км із максимальним відхиленням від вертикалі на 90°). Ще швидше від тіла будуть переміщатися вздовж брахістохрони – вона ж ізохрона Гюйгенса і вона ж циклоїда – кривої, яку малює точка ободу колеса під час його руху по прямій дільниці без проковзування. У цьому випадку $T = \sqrt{2\pi L/g}$, що на 2 секунди швидше, ніж уздовж півкола.

І нарешті, у дусі часу, який вимагає суцільної гуманізації, а також щоб попередити можливі виступи зелених на захист студентів, визначимо, чи не завеликого перевантаження зазнаватиме студент під час подорожі. Найбільша реакція опори буде діяти на людину в найнижчій точці кола:

$$N = m \frac{v^2}{r} + mg = m \frac{2gr}{r} + mg = 2,5mg.$$

Як видно, N від радіуса кола не залежить, а його величина майже така ж, як і в найнижчій точці атракціону „Сюрприз” – колеса, яке починає обертатися у горизонтальній площині, а після того, як набере обертів, піднімається до майже вертикальної площини.

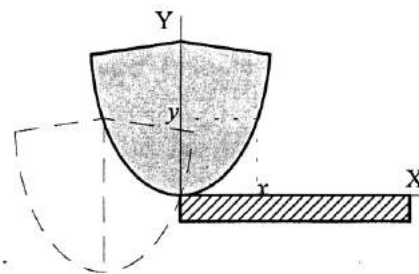
Ця задача звертає увагу на потужність методів аналізу розмірностей навіть у задачах з механіки. На жаль, в останні роки кількість олімпіадних задач, в яких використовується аналіз розмірностей, дуже незначна. Так і задача „Підземний транспорт” свого часу була запропонована, однак її не відібрали на XXXVIII Всеукраїнську олімпіаду з фізики.

Форма проведення природничо-математичного марафону в Одесі була такою, що дала змогу розв'язати задачу якщо не з першого разу, то з другого або третього (отримавши дещо менше балів). Учасник підходив з варіантом розв'язку задачі до члена журі, і, якщо розв'язок був неправильним, член журі вказував на помилку. Таких

підходів з однією задачею дозволялось робити три. Отже, кожен міг отримати дві підказки. Першою підказкою у задачі „Підземний транспорт” переважно була така: „Ви не можете користуватися формулою для періоду коливань математичного маятника $T = 2\pi\sqrt{l/g}$, оскільки вона правильна тільки для малих кутів відхилення, а у Вас – $\pi/2$ ”. Другою підказкою: „Подумайте, від чого може залежати час руху тіла вздовж півкола і скористайтеся теорією розмірності”, на жаль, зміг скористуватися не кожен.

Задача 2. Дзига

Оскільки впливом повітря в задачі можна знехтувати, обертання потрібне для того, щоб забезпечити вертикальне положення осі симетрії і легкого (читай, рівномірного) ковзання дзиги по поверхні стола. Отже, для визначення форми поверхні можна вважати, що дзига рухається поступально, і кожна її точка після початку падіння рухається вздовж параболи. Зобразимо дзигу на краю стола і введемо систему координат із центром у точці дотику дзиги і столу, вісь абсцис спрямуємо праворуч, а вісь ординат – догори (див. рисунок). Розглянемо довільну точку на тій дузі поверхні дзиги, яка буде „проковзувати” вздовж краю стола. Координати точки: x – відстань до осі симетрії і y – висота над поверхнею. У той момент часу, коли ця точка буде поряд з краєм столу, дзига переміститься ліворуч на відстань $x = vt$ і вниз на $y = gt^2/2$. Вилучивши з цих двох рівнянь час, знайдемо зв'язок між координатами довільної точки дуги дзиги, а саме рівняння параболи: $y = (g/2v^2)x^2$ або $y = 19,6x^2$, де x і y вимірюються у см.



Поверхня дзиги є параболоїдом обертання, тобто її можна отримати, обертаючи параболу навколо осі.

На початку розв'язку ми не звернули уваги на відсутність в умові вказівок відносно кута, під яким до краю стола рухається дзиґа. У таких випадках потрібен додатковий аналіз. Умову задачі можна трактувати по-різному. По-перше, можна припустити, що швидкість $v = 5$ см/с є проекцією швидкості дзиґи на напрям, перпендикулярний до краю стола. Тоді, як не важко довести, рівняння параболи не зміниться. По-друге, можна вважати, що швидкість $v = 5$ см/с є швидкістю дзиґи, яка може бути спрямована під кутом до краю стола. Тоді, розкладаючи вектор швидкості v на складові, знаходимо, що в рівнянні параболи слід зробити заміну $v \rightarrow v \sin \alpha$. Остаточоно маємо:

$$y = \frac{g}{2v^2 \sin^2 \alpha} x^2.$$

Задача 3. Паровоз і дим

Вісь абсцис направимо на схід, вісь ординат – на північ. Координати станції $0 - at^2/2$, де $t = 2$ хвилини.

Координати паровоза через час t після початку руху будуть $0 - at^2/2 + at^2/2$. Дим, який випустив паровоз у цій точці буде зміщений вітром вздовж осі абсцис на відстань $v_x(\tau - t)$, а вздовж осі ординат на відстань $v_y(\tau - t)$, де v_x і v_y – проекції швидкості вітру на відповідні осі. Отже, у момент часу τ , який відповідає зображенню на рисунку, координати частинок диму, які випустив паровоз у деякий момент часу t , є

$$x = v_x(\tau - t), \quad y = v_y(\tau - t) - at^2/2 + at^2/2.$$

Вилучаючи t , знайдемо вираз, який пов'язує координати будь-яких частинок диму, що з'явилися під час руху паровоза з прискоренням a , тобто рівняння кривої:

$$y = \frac{v_y - at}{v_x} x + \frac{a}{2v_x^2} x^2.$$

Слід диму має форму параболи.

Спочатку визначаємо прискорення паровоза. Із рисунка знаходимо, що відстань, яку він пройшов, дорівнює $S = 720$ м. Далі з $S = at^2/2$ знаходимо $a = 0,1$ м/с². Для визначення невідомих v_x і v_y потрібні ще дві умови. Як першу умову можна взяти координати верхівки параболи

$x_0 = 240$ м; $y_0 = -320$ м, як другу або координати ще однієї точки, або значення тангенса кута, який утворює вісь абсцис і слід диму на початку координат:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y - at}{v_x}.$$

На відміну від координат вершини параболи, це дасть деяку похибку. Виявляється цієї похибки можна уникнути, якщо здогадатися, що вершину параболи утворює дим, який випустив паровоз у той момент часу τ_0 , коли його швидкість зрівнялась з проекцією швидкості вітру на напрям руху поїзда, а саме з v_y : $at_0 = v_y$. Тоді координати верхівки параболи в момент часу будуть:

$$x_0 = v_x(\tau - \tau_0) = v_x(\tau - v_y/a),$$

$$\begin{aligned} y_0 &= v_y(\tau - \tau_0) - at^2/2 + at_0^2/2 = \\ &= v_y\tau - v_y^2/(2a) - at^2/2 \end{aligned}$$

Підставмо y_0 , a і в останнє рівняння й знайдемо два значення для v_x : 4 м/с і 20 м/с, з яких тільки перше не призводить до суперечностей. Далі з виразу для x_0 знаходимо: $v_x = 3$ м/с. Швидкість вітру $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 5$ м/с. Напрямок визначають проекції. Рівняння параболи (в системі СІ):

$$y = -\frac{8}{3}x + \frac{1}{180}x^2.$$

Задача 4. Коефіцієнт заломлення

Введемо систему координат із початком координат точкою O на поверхні планети, горизонтальною віссю OX і вертикальною OY так, щоб траєкторія променя лежала в площині XOY . За умовою, рівняння траєкторії променя $y = ax^2 + bx + c$, а коефіцієнт заломлення залежить від висоти $n = n(y)$. За законом заломлення, $N = N_0(1 - y/h)$ вздовж траєкторії променя

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 = n_3 \sin \alpha_3 \dots,$$

тобто величина $n \sin \alpha$ стала:

$$n(y) \sin \alpha = C = \text{const}. \quad (1)$$

Кут падіння промінь утворює з перпендикуляром до поверхонь рівного значення показника заломлення $n(y)$. Це означає, що промінь падає під кутом $\alpha/2$ до горизонту і утворює кут $\alpha/2$ з



віссю OX . Із геометричного змісту похідної маємо $\operatorname{tg} \pi/2 \pm \alpha = y'(x) = 2ax + b$ (виняток $\alpha = 0$). Виражаємо $\sin \alpha$ через $\operatorname{ctg} \alpha$, враховуючи, що в нашому випадку $\sin \alpha > 0$:

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2ax + b^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 4a^2 x^2 + 4abx + b^2}} = \frac{1}{\sqrt{4ay + b^2 - 4ac + 1}}$$

Підставляємо вираз для $\sin \alpha$ у (1) і знаходимо:

$$n(y) = C \sqrt{4ay + b^2 - 4ac + 1}.$$

На поверхні планети $y = 0$,

$$n(0) = n_0 = C \sqrt{b^2 - 4ac + 1}.$$

На межі атмосфери $y = h$ маємо вакуум, тобто

$$n(h) = 1 = C \sqrt{4ah + b^2 - 4ac + 1}.$$

Розв'язуємо систему рівнянь і знаходимо залежність коефіцієнта заломлення від висоти

$$n(y) = \sqrt{n_0^2 - \pi_0^2 - 1 \cdot y/h}.$$

Щоб відповісти на друге запитання задачі, визначимо рівняння параболи, вздовж якої рухається світловий промінь. Для цього припустимо, що промінь випускають з початку координат під кутом до осі OX .

Тоді з рівняння (1) маємо

$$n_0 \cos \alpha = C,$$

а рівняння параболи набуває вигляду

$$y = ax^2 + bx,$$

де
$$a = -\frac{n_0^2 - 1}{4hn_0^2 \cos^2 \beta}, \quad b = \operatorname{tg} \beta.$$

Оскільки $\alpha < 0$ гілки параболи „дивляться” униз, тобто траєкторія руху променя в атмосфері планети подібна до траєкторії руху тіла, яке кинуте під кутом до горизонту в однорідному полі тяжіння. Та на відміну від руху тіла, швидкість світлового променя з висотою не зменшується, а збільшується, оскільки зменшується коефіцієнт заломлення. Визначимо максимальну дальність польоту променя. У момент падіння $y = 0$,

$$x = -\frac{b}{a} = \frac{4hn_0^2 \cos^2 \beta \operatorname{tg} \beta}{n_0^2 - 1} = \frac{2hn_0^2 \sin 2\beta}{n_0^2 - 1}.$$

Максимальне значення x маємо, якщо $\sin 2\beta = 1$, звідки $\beta = 45^\circ$. Як і у випадку з тілом, яке кинули під кутом до горизонту, максимальна дальність буде при $\beta = 45^\circ$. Однак не квапмося, адже висота атмосфери h не безмежна, а максимальна висота руху променя не повинна перевищувати h , інакше він назавжди вийде у космічний простір. Максимальна висота підняття променя y_h – це ордината верхівки параболи, абсциса якої x_h удвічі менша за дальність польоту: $x_h = -b/2a$.

Підставмо x_h у рівняння параболи:

$$y_h = -\frac{b^2}{4a} = h \frac{n_0^2 \sin^2 \beta}{n_0^2 - 1} \leq h.$$

Із останньої нерівності знаходимо обмеження на кут β : $\cos \beta \geq 1/n_0 \approx 0,909$. Кут 45° цій нерівності не задовольняє. Кут, під яким до горизонту треба направити промінь, щоб дальність його польоту була максимальна, є $\beta = \arccos(1/n_0) \approx 24,6$. Максимальна дальність при цьому буде

$$x_{\max} = \frac{4h}{\sqrt{n_0^2 - 1}} \approx 436 \text{ км}.$$

Зазначмо, що коефіцієнт заломлення можна виразити через електронну поляризованість атома (чи молекули) a і концентрацію N :

$$n = \sqrt{1 + 4\pi\alpha N}.$$

Порівнюючи з $n(y) = \sqrt{n_0^2 - \pi_0^2 - 1 \cdot y/h}$, знаходимо, що концентрація має лінійно зменшуватися з висотою $N = N_0(1 - y/h)$, а це досить точно й для земної атмосфери, якщо висоти не дуже великі.

Було б непогано, якби хтось з олімпійців проаналізував, наскільки правильним було те, що ми знехтували кривиною поверхні. Адже при невеликих кутах навіть незначна кривина може суттєво вплинути на дальність польоту. Чи завжди можна бути впевненим, що з $h \ll R$ впливає $x_{\max} \ll R$? У нашому випадку $x_{\max} \approx 8,7h$. Та якби в умові задачі був вибраний реалістичніший для Землі коефіцієнт заломлення повітря, а саме $n_0 \approx 1,0003$, тоді $x_{\max} = 163,3h \approx 8174$ км, що вже перевищує радіус Землі. Однак такий докладний аналіз, звичайно, більше підходить до умов заочної олімпіади, ніж очного марафону.



МАНДРІВКА В МИНУЛЕ: СТОРІНКИ ІСТОРІЇ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Ірина Козловська,

*доктор педагогічних наук Інституту педагогіки і психології
професійної освіти АПН України*

Перехід від механічних уявлень до електро динамічних є важливим етапом у вивченні фізики. Він дає змогу простежити розвиток основних етапів пізнання світу: спостереження, накопичення фактів, узагальнення, співвідношення теоретичного та емпіричного у пізнанні.

Електростатичні явища відомі людям з найдавніших часів. Одним із загальновідомих фактів було притягування легеньких клаптиків папірусу до бурштину при його натиранні. Проте до середини XVIII сторіччя такі факти лише накопичувалися, описували їх у філософських та художніх творах. Були спроби пояснити їх існуванням „атмосфер” навколо заряджених тіл.

Перші наукові нотатки про електрику належать лейб-медикові англійської королеви Вільямові Гільберту, який ввів слово „електрика”, розмежував електричні та магнетні явища: магнетні властивості він вважав вічними, а електричні такими, які можна збудити або знищити. Гільберт показав, що наелектризувати можна не лише бурштин, а й деякі інші матеріали: алмаз, гірський криштал. Він запропонував і перший електричний пристрій (стрілку на вістрі), який став прототипом електроскопа. Найбільшою заслугою Гільберта є те, що він вперше відстояв значення досліду як критерію істини і всі свої положення, які висував, перевіряв експериментально. Роль Гільберта в науці легше зрозуміти, якщо пригадати, що в ті часи поняття про експеримент як основу дослідження просто не було.

Другий важливий етап у розвитку електростатики – це створення можливості відтворювати досліди, повторювати їх з отриманням аналогічних результатів. Ці дослідження пов’язані з іменем Отто фон Геріке з Магденбургу, який виготовив першу електричну машину (кулю з сірки на залізній жердині). Під час обертання кулі та її натирання долонею до неї притягувалися легкі тіла;

деколи ці тіла відштовхувалися від кулі. Електрична машина давала змогу спостерігати штучно створену електричну іскру; за її допомогою було виявлено провідність електрики для деяких матеріалів (наприклад, лляних ниток).

Розвиток методів фізичного експерименту, який ішов поряд з удосконаленням технічних засобів і пристроїв, можна показати учням на прикладі удосконалення машини Геріке іншими вченими. Наприклад, у конструкції Ж. Нолле скляну кулю натирали шкіряними подушечками, і заряди проходили по провіднику на спеціальний кондуктор. У конструкції Д.Рамсена машина давала змогу отримати заряди різних знаків, а 1706 року Ф. Гауксбі, який провів досліди у розрідженому газі, виявив, що навколо заряджених тіл виникає світіння.

Великі відкриття у науці, зокрема відкриття законів фізики, найчастіше пов’язують з одним-двома іменами учених. Однак майбутнім науковцям доцільно простежити естафету накопичення фактів, їх узагальнення, уточнення, до якої причетні десятки вчених. Саме такий фундамент є необхідною передумовою якісного стрибка – формування теорії чи виведення закону. Це можна показати і на прикладі електростатики.

Англійський учений С. Грей 1729 року встановив, що електрика передається від тіла до тіла металевими дротами, а по шовкових нитках заряд не проходив. На підставі цього спостереження Грей поділив усі тіла на провідники та непровідники електрики. Важливим спостереженням ученого було й те, що тіло можна зарядити, не доторкуючись до нього іншим зарядженим тілом, а просто наблизивши заряджене тіло до незарядженого.

Французький учений Ш. Дюфе 1734 року звернув увагу на відмічене Гресем явище відштовхування однаково заряджених тіл і поділив заряджені тіла ще на дві групи: „смоляну” та „скляну” електрику, залежно від способу отримання заряду.



Отже, на відміну від гравітаційних взаємодій (лише притягання) було виявлено двояку взаємодію електрично заряджених тіл (притягування та відштовхування). Клейст і Мушенброк 1745 року описали дію лейденської банки, скомбінованої з провідників і діелектриків та здатної накопичувати електричний заряд у значних кількостях.

Ці наукові спостереження проводили паралельно з розвитком знань про електричні явища, які більшість людей сприймала як фокуси та розваги.

Відому цитату про те, що наука починається тоді, коли починається вимірювання, можна проілюструвати на прикладі. Д. Бернуллі 1750 року намагався виміряти силу взаємодії двох заряджених плит за допомогою гідростатичного електрометра. Удосконалюються електроскопи – прилади для порівняння та вимірювання величини електричних зарядів. У конструкції Д. Кантона електроскоп складався з двох маятників із бузини, підвішених на кінцях металевого стержня (під час наближення зарядженого тіла маятники розходилися). У пізнішому варіанті електроскопа А. Беннета у скляній посудині розходилися два золоті листочки і за величиною кута розходження визначали величину електричного заряду. Водночас удосконалюються і пристрої для отримання електрично заряджених тіл. А. Вольта 1775 року винайшов електрофор.

Важливим моментом у процесі вивчення деякої групи фізичних явищ є показ переходу емпіричних досліджень і простого трактування результатів до їх теоретичного осмислення та узагальнення. В історії розвитку електричних явищ здійснити цей перехід випало на долю видатного американського діяча та вченого Б. Франкліна. Передусім він довів, що іскра з електричної машини та блискавка – це одне й теж явище у різних масштабах. Франклін увів такі слова, як „заряд”, „розряд”, „конденсатор”, а „смоляну” та „скляну” електрику назвав „достатньою” та „від’ємною”, а також пояснив принцип дії лейденської банки. Б. Франклін зробив першу спробу теоретично пояснити природу електричних явищ. Гіпотеза Франкліна передбачала наявність у природі особливої електричної рідини – тонкої невидимої речовини „флюїду”. Якщо тіло має певну кількість флюїду, то його електричні властивості не виявляються. Надлишок флюїду заряджає тіло позитивно, а недостача – негативно. Вчений вважав,

що флюїд легко проходить через речовину, оскільки складається з особливих тонесеньких часточок. Наскільки ймовірна ця гіпотеза – можна запропонувати учням зробити висновок пізніше, коли вони глибше ознайомляться з сучасними уявленнями про природу електричних явищ. Водночас у ті часи існували й інші теорії флюїду, наприклад, теорія позитивного та негативного його різновиду. Доцільно зазначити, що Франклін також підтвердив здогад про збереження електричного заряду.

Аналогія – суттєва чи поверхнева схожість деяких різнорідних явищ – відіграла важливу роль у формуванні фізичних знань. Під час вивчення закону Кулона в електростатиці відкриваються можливості показати не лише наполегливість учених у пошуках істини, а й внесок багатьох з них у відкриття, яке пізніше, за законами, буде названо іменем одного лише Кулона: людини, яка поставила останній штрих у вивченні основного закону електростатики, сформулювала та остаточно довела його справедливості. Ці думки можна проілюструвати учням на конкретних прикладах.

Наприкінці XVIII сторіччя Ф. Епінус розвиває теорію Франкліна, взявши за зразок закон всесвітнього тяжіння. Він припустив, що між частинками електричної матерії діють центральні далекодіючі сили. Проте, на відміну від гравітаційних сил, вони можуть бути як силами притягування, так і відштовхування. Цю ідею Епінус приймає як факт, хоча і не спроможний пояснити дії електричних сил через простір. Наступне припущення Епінуса полягає в тому, що електричні сили також змінюються обернено пропорційно до квадрата віддалі між взаємодіючими тілами. У своїх дослідженнях він наводить нові підтвердження закону збереження електричного заряду, а також показує, що при поділі зарядженого тіла на частини утворюються два нові заряджені тіла.

Значний внесок у вивчення електрики, зокрема у підтвердження закону Кулона, зробив відомий більше як хемік Д. Прістлі у своїй праці „Історія та сучасний стан електрики з оригінальними дослідженнями”. На основі експерименту (а не припускаючи, як Епінус) Прістлі доводить, що „притягання електрики відбувається за тими самими законами, що і тяжіння”.

Завершальний етап, який супроводжує утвердження майже всіх законів фізики, провів для



електростатики Шарль Кулон наприкінці XVIII сторіччя. Поле його діяльності в царині електрики та магнетизму досить широке, проте у процесі вивчення електростатики можна виділити такі результати:

1. Точне доведення закону обернених квадратів для електричних сил.
2. Введення поняття „кількість електрики”.
3. Встановлення факту прямої пропорційності кількості електрики та сили взаємодії заряджених тіл.
4. Вивчення залежності густини поверхневого заряду від форми провідника, на якому міститься заряд.

Завдяки цим дослідженням, спираючись на здобутки своїх попередників (про які йому було відомо), Кулон сформулював основний закон електростатики, який назвали його іменем. Дослідне підтвердження закону він провів на унікальному для свого часу пристрої – електричній вазі. Учням доцільно ще раз наголосити, що найважливішим у роботах Кулона були саме експериментальні результати, оскільки якісні міркування про закономірності електричних явищ висловили його попередники.

Вивчення основного закону електростатики дає змогу показати ті процеси, які спостерігаються після остаточного формулювання закону. Адже кількість фактів, які накопичуються навколо певного явища з часом зростає, і вчення про ці явища розпадається на окремі підрозділи.

Після встановлення закону, який описує певну групу фізичних явищ, зазвичай, настає період математизації цього закону. Наприклад, у XIX сторіччі Пуассон, розв’язуючи задачу про розподіл заряду по поверхні провідника, вводить потенціальну функцію (потенціал), яка залежить від координат і набуває сталих значень на поверхні провідника. Властивості цієї функції вивчає Грін, намагаючись знайти можливості її застосування. З’ясувалось, що фізичний зміст має не сама функція, а різниця її значень для різних точок провідника. Грін довів низку теорем для потенціалу, а далі вчення про потенціал розробив математик Гаусс.

Отже, ми простежили логічний ланцюжок: спостереження та накопичення фактів, спроби їх пояснити, розробити пристрої для отримання та дослідження кількісних характеристик електрич-

ного заряду, формування базового закону, його теоретичне та математичне обґрунтування, розпад великої групи явищ на окремі підгрупи (вчення про електростатику на вчення про властивості діелектриків, провідників, потенціал тощо). Далі переважно настає момент, коли вивчені явища пов’язують з іншими, вписують у загальніші теорії.

Величезний внесок у вчення про електромагнетизм зробив М. Фарадей. Низку електростатичних явищ він пояснив, використовуючи інші розділи фізики. Наприклад, дослідивши проходження електричного струму через рідини, Фарадей зробив висновок, „що електрика пов’язана з атомами матерії”, „атоми матерії обдаровані електрично”. Він також досліджує властивості провідників та діелектриків.

На прикладі електростатики можна продемонструвати, що на деякому етапі кожна група фізичних явищ робить свій внесок у формування наукової картини світу, у вивчення фундаментальних законів матерії. Наприкінці XIX сторіччя низка фактів вказувала на існування електрона – частинки матерії, яка несе в собі певний електричний заряд. До цього висновку близько підійшов В. Вебер, кажучи, що „з кожним вагомим атомом пов’язаний електричний атом”; деякі дослідження у цьому напрямі проводив Гемгольц.

На межі XIX–XX сторіч електростатика формується у завершений розділ фізики, формується головню завдяки дослідям Міллікена, які дали змогу встановити елементарний, найменший у природі заряд – заряд електрона.

Звичайно, електростатика розвивається і сьогодні: як складова частина теорії поля, як наука про природу провідників і діелектриків. Вона тісно пов’язана з іншими розділами фізики і часто є першим кроком до вивчення складних фізичних явищ, які наука намагається пояснити.



КОНКУРС „НАУКОВА КНИГА”

Журнал „Світ фізики” оголошує конкурс на найкращу книгу 2002 року в номінації „Наукова книга”.

Просимо надсилати до редакції книги, видані в Україні 2002 року.

Читачів журналу ми знайомитимемо зі змістом книг, друкуватимемо рецензії на них, розміщатимемо інформацію про авторів та видавництва. Переможців чекають призи.

Про умови конкурсу читайте в наступному числі журналу.

Юхновський І.Р., Козловський М.П., Пилюк І.В. Мікроскопічна теорія фазових переходів у тривимірних системах. – Львів: Євросвіт, 2001. – 592 с.: іл.

Монографія присвячена методів прямого розрахунку основних характеристик тривимірних фізичних систем в інтервалі температур, що включав точку фазового переходу другого роду. Використовуючи явний вигляд гамільтоніану системи та яacobіану переходу від вихідної системи індивідуальних координат частинок до нових (колективних) змінних, опис фазового переходу здійснюється з перших принципів.

Для тривимірної ізінгоподібної системи знайдені аналітичні вирази для критичної температури і термодинамічних функцій, встановлено їхній зв'язок з мікроскопічними параметрами системи.

Побудована теорія фазового переходу ґрунтується на використанні негаусових базисних мір і може бути застосована в широкому класі фізичних систем.



Іво Краус. Вільгельм Конрад Рентген/ Пер.з чеської В.Станкевич-Іванова. – Львів: Євросвіт, 2002. – 100 с.: іл.



Книга чеського фізика Іво Крауса про видатного німецького фізика, першого лавреата Нобелівської премії Вільгельма Конрада Рентгена, його життя та наукову творчість вперше видана в Празі чеською мовою. Ми пропонуємо переклад цієї книжки українською мовою з передмовою автора для нашого читача.

Іво Краус – чеський фізик, який займається історією науки, має на цю тему багато публікацій не тільки в Чехії, а й в інших країнах, зокрема цікавиться долею та науковими здобутками Івана Пулюя.

„...Видання біографії винахідника рентгенівських променів для мене велика честь. Я від щирого серця бажаю, аби читачі прийняли її як скромний подарунок молодій генерації слов'янського народу... У грудні 2001 року минає 100 років від присудження Нобелівської премії за фізику. І це лише збіг обставин, що першим лавреатом був не Іван Пулюй, а Вільгельм Конрад Рентген. Немає сенсу гадати, якою несправедливою може бути випадковість. Це винятково людські проблеми. „Науці абсолютно байдуже, кому буде приписане відкриття її таємниць”, – сказав колись Майкл Фарадей...”

(Із передмови проф. І.Крауса до українського видання)

Приймаємо замовлення на книги за адресою: Євросвіт, 79005 м. Львів, а/с 6700

Свєра Словник

Відкрий для себе
нові грані світу
науки, культури
та мистецтва!

