

С В І Т

ФІЗИКИ

№4
2005

науково-популярний журнал

**2005 рік –
оголошено
роком фізики**



**50 років
квантової
електроніки**

**Щоб атом "засвітився",
його попередньо треба
збудити**

Роман Гайда



ЧИ МАЄ ФІЗИКА МАЙБУТНЄ?

Над цим питанням розмірковували фізики України на конференціях, нарадах, круглих столах упродовж 2005 року.

(Читайте про це на стор. 29)



Під час круглого столу "Проблеми викладання фізики в школі" у Львівському національному Університеті імені Івана Франка (Львів, 15 квітня 2005 року)



Учасники наради-семінару з наукових та методичних проблем викладання фізики "ФІЗИКА-2005" перед головним корпусом Національного університету "Львівська політехніка" (12 жовтня 2005 року)



Круглий стіл у Президії НАНУ "Дискусія про історичну і сучасну роль фізики і фізиків у Розвитку наукових знань про природу і суспільство" (Київ, 24 листопада 2005 року)

Президія круглого столу "Проблеми освіти в галузі фізико-математичних наук"

у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка (зліва направо): декан радіофізичного факультету професор В. І. Григорук, віце-президент НАНУ академік А. Г. Наумовець, декан фізичного факультету член-кореспондент НАНУ Л. І. Булавін, академік НАНУ

М. Г. Неходкін, президент Українського фізичного товариства член-кореспондент НАНУ В. Г. Литовченко, академік-секретар відділення фізики та астрономії НАНУ В. М. Локтєв (Київ, 17 листопада 2005 року)



Журнал „СВІТ ФІЗИКИ”,
заснований 1996 року,
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180
від 06.11.1997 р.
Виходить 4 рази на рік

Засновники:
Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Львівський фіз.-мат. ліцей,
СП „Євросвіт”

Головний редактор
Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:
Олександр Гальчинський
Галина Шопа

Редакційна колегія:

Олекса Біланюк
Михайло Бродин
Петро Голод
Семен Гончаренко
Ярослав Довгий
Іван Климишин
Юрій Ключковський
Богдан Лукіянець
Юрій Ранюк
Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**
Літературний редактор
Мирослава Прихода
Комп'ютерне макетування та друк
СП „Євросвіт”, наклад 1000 прим.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”
вул. Саксаганського, 1,
м. Львів 79005, Україна
тел. у Львові 380 (0322) 96 46 73
у Києві 380 (044) 416 60 68
sf@ktf.franko.lviv.ua; phworld@franko.lviv.ua
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Які наукові досягнення очікує людство 2006 року?

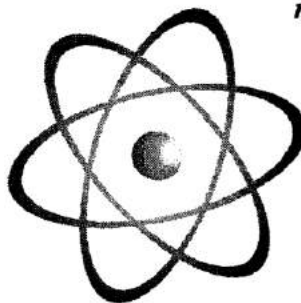
Найбільші сподівання людство покладає на розв'язання проблеми вірусу ”пташиного грипу”.

Очікують, що 2006 року нарешті буде сформульовано теорію явища високотемпературної надпровідності, яке відкрили ще 20 років тому.

До перспективних напрямів відносять дослідження гравітаційних хвиль за допомогою лазерної інтерферометричної гравітаційно-хвильової обсерваторії LIGO.

Великі надії науковці пов'язують із новою обсерваторією імені П'єра Оже в Аргентині, де вивчатимуть найпотужніше космічне випромінювання. Одна елементарна частинка, що приходить на Землю, може нести енергію, співмірну з енергією кинутого каменя. Обсерваторія вже працює, отримано перші результати, але попереду ще декілька етапів введення її в дію.

*Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові й маловідомі явища фізики

Довгий Ярослав. 50 років квантової електроніки

Шона Роман. Якби Моцарт жив сьогодні...

3

16

2. Олімпіади, турніри...

Задачі X відкритого Луганського юніорського турніру фізиків (юніорська ліга, 8–9 клас)

Анісімов І. О., Кельник О. І. Інтелектуальні змагання студентів-фізиків

24

26

3. Актуальні проблеми...

Шона Галина. Чи має фізика майбутнє?

29

4. Олімпіади, турніри...

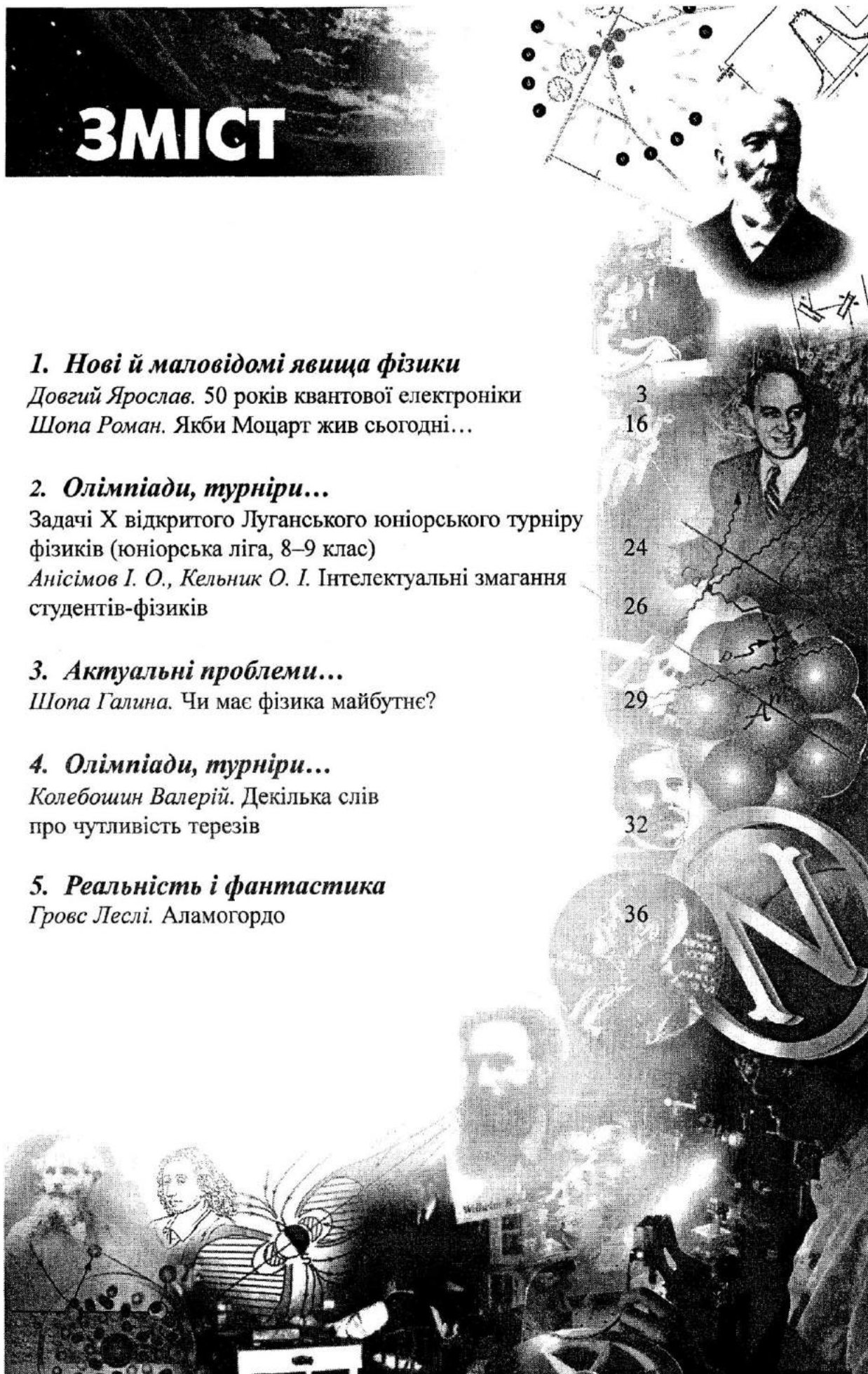
Колєбошин Валерій. Декілька слів про чутливість терезів

32

5. Реальність і фантастика

Гровс Леслі. Аламогордо

36





50 років квантової електроніки

Ярослав Довгий,

професор Львівського національного університету
імені Івана Франка

Півстоліття тому у фізиці настав такий момент, коли майже водночас Олександр Прохоров і Микола Басов у СРСР та Джон Гордон і Чарлз Тавнс у США опублікували праці, які заклали основи квантових методів генерації та підсилення високочастотних електромагнетних коливань. Це був епохальний момент в історії науки і техніки, співмірний – про це нині можемо з впевненістю стверджувати – з розшифруванням структури генів та з зародженням кібернетики.

Лазери, як і комп'ютери, – це символи величезного стрибка науки і техніки останніх десятиріч. Широке зацікавлення у розвитку й застосуванні лазерної техніки зумовлене очевидною перспективністю її використання в процесі розв'язання таких нових наукових і технічних проблем, які іншими засобами розв'язати неможливо.

Із винайденням лазерів оптика – ця давня наука про світло – зазнала нового відродження. Сталося своєрідне злиття оптики з радіофізикою, поглибилися поняття когерентності, нелінійності оптичних явищ тощо.

Фізичні засади квантової електроніки

Головні засадничі фізичні принципи квантової електроніки є синтезом трьох фізичних засад, а саме:

- 1) про стимульоване (вимушене, індуковане) випромінювання;
- 2) про термодинамічно нерівноважні та нестационарні в часі інверсно-заселені ("самоорганізовані", або синергетичні) системи;
- 3) про додатний зворотний зв'язок.

Якщо, наприклад, кібернетика виникла на стику різних наук (біологія, теорія інформації, прикладна математика, мікроелектроніка, алгебра логіки), то квантова електроніка зародилася на стику різних гілок однієї науки – фізики (оптика, нерівноважна термодинаміка, радіофізика).

Розгляньмо систему атомних частинок, які не взаємодіють, коли безвипромінювальні переходи можна не брати до уваги. Система характеризується набором дискретних енергетичних станів, серед яких нас цікавитимуть тільки рівні з енергіями E_1 і E_2 (рис. 1). Кратності вироджених станів (статистичні ваги) позначмо g_1 і g_2 . За відсутності виродження $g_1 = g_2 = 1$.

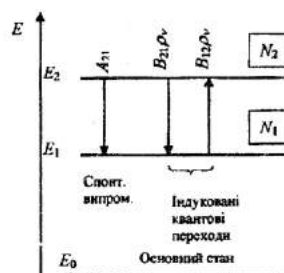


Рис. 1. Квантові переходи в дворівневій системі

У разі термодинамічної рівноваги співвідношення між заселеностями* N_2 і N_1 відповідних станів визначають розподілом Больцмана:

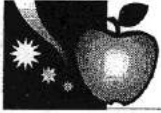
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\frac{E_2 - E_1}{kT}} \quad (1)$$

За відсутності зовнішнього збудження в системі можуть відбуватися лише спонтанні квантові переходи $2 \rightarrow 1$ з випромінюванням світла частотою

$$\nu_{21} = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

Ймовірність таких переходів позначмо A_{21} . Кількість переходів за час dt дорівнюватиме

*Заселеністю N_i енергетичного стану є кількість атомів (молекул, йонів) в одиниці об'єму, що знаходяться у стані E_i .



$A_{21}N_2dt$. Це означає, що саме на таку величину за час dt зменшиться заселеність стану 2:

$$-dN_2 = A_{21}N_2dt.$$

Проінтегрувавши, одержимо

$$N_2(t) = N_2^{(0)}e^{-A_{21}t}, \quad (2)$$

де $N_2^{(0)}$ – початкова кількість атомів (при $t = 0$) у стані 2.

Отже, потужність спонтанного випромінювання

$$P_{cn}(t) = h\nu_{21}A_{21}N_2(t) = h\nu_{21}A_{21}N_2^{(0)}e^{-A_{21}t}$$

зменшується з часом за експоненціальним законом. Середній час життя атомів у збудженому стані можна знайти, виходячи з таких міркувань.

Атоми, що залишають збуджений стан 2 за час від t до $t + \Delta t$, очевидно, перебувала в цьому стані впродовж часу t . Кількість таких атомів дорівнює $A_{21}N_2\Delta t$. Звідси їхня середня тривалість перебування ("час життя") у збудженому стані

$$\tau_{cn} = \frac{1}{N_2^{(0)}} \int_0^{\infty} t A_{21} N_2 dt = A_{21} \int_0^{\infty} t e^{-A_{21}t} dt.$$

Проінтегрувавши $\left(\int_0^{\infty} x e^{-ax} dx = a^{-2} \right)$, одержимо

$$\tau_{cn} = \frac{1}{A_{21}}. \quad (3)$$

Величину τ_{cn} можна знайти експериментально, оскільки вона наявна як параметр у законі згасання спонтанної люмінесценції

$$I_{\text{люм}}(t) = I_{\text{max}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{cn}}\right). \quad (4)$$

Розгляньмо індуковані квантові переходи, коли на систему діє зовнішнє електромагнетне поле частоти $\nu = \nu_{21}$. Ймовірність індукованих переходів W_{ind} пропорційна до спектральної густини стимулювального випромінювання ρ_ν . Тоді умова динамічної рівноваги (кількість індукованих переходів $1 \rightarrow 2$ за одиницю часу дорівнює кількості переходів $2 \rightarrow 1$ і спонтанних, й індукованих) матиме вигляд:

$$B_{12}\rho_\nu N_1 = A_{21}N_2 + B_{21}\rho_\nu N_2.$$

Врахувавши (1), запишемо

$$B_{12}\rho_\nu \frac{g_1}{g_2} e^{h\nu/kT} = A_{21} + B_{21}\rho_\nu,$$

звідки

$$\rho_\nu = \frac{A_{21}}{B_{12} \frac{g_1}{g_2} e^{h\nu/kT} - B_{21}}.$$

Для узгодження з формулою Планка

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

належить припустити, що

$$B_{12} = \frac{g_2}{g_1} B_{21}, \quad (5)$$

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3}. \quad (6)$$

Ймовірність індукованих випромінювальних переходів – ця фундаментальна характеристика у квантовій електроніці – дорівнює

$$W_{ind}(\nu) = B_{21}\rho_\nu = A_{21} \frac{c^3}{8\pi h \nu^3} \rho_\nu.$$

Якщо врахувати, що спектральна лінія не безмежно вузька, а її описують деякою функцією контура $G(\nu)$, тип якої залежить від механізмів розширення спектральної лінії, то слід записати

$$W_{ind}(\nu) = \frac{c^3}{8\pi h \nu^3} \rho_\nu \frac{1}{\tau_{cn}} G(\nu). \quad (7)$$

Коротка передісторія квантової електроніки

Розвиток квантової електроніки викликав значне зацікавлення до історії її виникнення. Варто лише зазначити, що Нобелівська лекція О. Прохорова, яку він прочитав 11 грудня 1964 року в Стокгольмі, була повністю присвячена історії квантової електроніки [1]. Нобелівська лекція Ч. Тавнса також істотно заторкувала цю проблему [2]. Згодом Тавнс написав спеціальну працю [3], в якій досить докладно висвітлив окремі моменти створення перших зразків квантових генераторів.



Зазвичай, у вступі до окремих монографій автори торкаються історії створення мазерів та лазерів, проте вона зводиться лише до більш чи менш повного переліку хронологічних відомостей. Можна назвати лише одну серйозну працю з історії квантової електроніки [4].

Розгляньмо основні етапи розвитку квантової електроніки. Іншими словами, нам належить простежити, як виникали ті головні фізичні ідеї, що лягли в основу створення квантових генераторів.

Цю історію, безумовно, треба розпочати з праць А. Айнштейна, опублікованих у 1916–1917 рр. [5], у яких під час нового виведення формули Планка було теоретично передбачено існування явища індукованого випромінювання. Хід міркувань Айнштейна викладено вище.

Яким був науковий резонанс на статті Айнштейна? Стосовно індукованого випромінювання – мінімальний. Ні в 1920, ані в 1930-х роках питання, пов'язані з індукованим випромінюванням, у наукових оглядах не обговорювали. Чому? Очевидно, це можна пояснити тим, що більшість фізиків вважало індуковане випромінювання незначним ефектом, який був пов'язаний з новим виведенням формули Планка і не мав будь-якого практичного значення.

Справді, за умов термодинамічної рівноваги, згідно з больцманівським законом, вищі енергетичні рівні мають меншу заселеність. Тому акти поглинання відбуваються зі значно більшою інтенсивністю, ніж акти індукованого випромінювання; динамічний баланс тут забезпечується спонтанними переходами.

Зауважмо, що попри те, що елементарні акти індукованого випромінювання і поглинання мають однакову ймовірність ($B_{21}\rho_\nu g_2 = B_{12}\rho_\nu g_1$), за умов звичайного експерименту (термодинамічна рівновага) індуковане випромінювання у чистому вигляді не спостерігається: воно завжди маскується переважаючим його резонансним поглинанням. Та все ж співвідношення (5) відіграло дуже важливу роль в історії виникнення квантової електроніки, оскільки саме воно навело на думку, що індуковане випромінювання можна виявити лише за таких умов досліду, коли порушена термодинамічна рівновага. Нині добре відомо, що індуковане випромінювання може переважати над поглинанням лише тоді, коли квантові системи

перебувають у термодинамічно нерівноважному, інвертованому стані, тобто коли заселення верхнього робочого рівня більше від заселення нижнього робочого рівня. Такі системи в сучасній термінології називають інверсно заселеними*. Не в кожному середовищі цього можна досягнути. Середовища (газові, рідинні, твердотільні), у яких можна створити таку ситуацію, – це, по суті, активні середовища квантових генераторів та підсилювачів. Пошук нових активних середовищ завжди був одним із найактуальніших завдань квантової електроніки.

Як можна досягнути інверсної заселеності в активному середовищі? Тільки шляхом його збудження: оптичного, електронним пучком тощо. Отже, інверсно заселене середовище – це збуджене середовище. Такий стан системи суттєво нерівноважний і нестационарний у часі.

Першою, хоч і непрямую спробою виявити на досліді індуковане випромінювання слід вважати серію праць німецького фізика Рудольфа Ладенбурга з дослідження явища від'ємної дисперсії (1928–1931). Це були класичні праці, про які студенти знають з курсу квантової механіки. До речі, в наш час (1960-ті роки) від'ємну аномальну дисперсію чітко спостерігав професор Іван Горбань (Київський університет ім. Т. Г. Шевченка) в ділянці резонансного дублету інверсно заселеного рубіну.

Можливість прямого експериментального виявлення індукованого випромінювання вперше спеціально висвітлено 1939 року в докторській дисертації Валентина Фабриканта, яку було опубліковано 1940 року [6]. Дисертація була присвячена вивченню оптичних властивостей газового розряду. Там навіть є параграф "До питання про експериментальний доказ існування від'ємної абсорбції". На жаль, тоді дослідження Фабриканта не привернули до себе належної уваги і лише 1950 року було зроблено перші спроби досягти інверсної заселеності на досліді.

Французький фізик, лауреат Нобелівської премії Альфред Кастлер 1950 року показав, що шляхом оптичного збудження атомів залежно від нап-

*Використовують також терміни: середовище з від'ємною температурою; середовище з від'ємним коефіцієнтом поглинання; оптично підсилювальне середовище.



рямку циркулярної поляризації світла можна перерозподіляти кількість атомів на різних зема-нівських підрівнях основного стану. Зокрема методом такого оптичного збудження можна створити інверсну заселеність. Правда, земанівські підрівні дуже близькі, і різниця їхніх енергій відповідає радіодіапазону.

Були й інші цікаві досліді (Едвард Парселл і Роберт Паунд – США, 1950).

Ми підійшли до найцікавішого періоду в історії квантової електроніки.

Мазери

У лабораторії коливачів Фізичного інституту ім. П. М. Лебедева АН СРСР 1949 року розпочали дослідження з мікрохвильової радіоспектроскопії (О. М. Прохоров, М. Г. Басов). Щоб розширити можливість цього методу, зробити його придатним для спостереження тонкої і надтонкої структури спектрів молекул, треба було підвищити чутливість і роздільну здатність спектрометрів. Відомо, що останнє залежить лише від ширини спектральної лінії поглинання. О. Прохоров запропонував замість однорідного газу брати молекулярні пучки, що орієнтовані перпендикулярно до напрямку поширення електромагнетних хвиль. Річ у тім, що ефект Доплера першого порядку, пропорційний до швидкості молекул, виникає тоді, коли швидкість молекул має компоненту вздовж напрямку поширення хвиль.

Проте можливості пучкових радіоспектрометрів виявилися вельми обмеженими через малу інтенсивність спостережуваних ліній, що було спричинено незначною різницею заселеностей рівнів, які зумовлюють квантовий перехід у мікрохвильовому діапазоні.

Саме на цьому етапі й виникла ідея: шляхом штучної зміни заселеностей рівнів суттєво підвищити чутливість спектрометрів. А за нею – інша, ще кардинальніша ідея використання індукованого випромінювання (замість поглинання) молекул, що містяться на вищому енергетичному рівні.

Першу доповідь про принципову можливість створення молекулярного генератора зробили М. Басов і О. Прохоров у травні 1952 року на Все-союзній конференції з радіоспектроскопії.

Незалежно і майже водночас пропозицію щодо використання індукованого випромінювання для генерування міліметрових хвиль висловив Чарлз Тавнс (Колумбійський університет, США), який підійшов до цієї ідеї також завдяки фундаментальним дослідженням у галузі молекулярної радіоспектроскопії.

Отже, на початку 50-х років минулого сторіччя чітко окреслилися фізичні принципи молекулярних підсилювачів і генераторів (мазерів)*. Мазер став історично першим чинним приладом, що ґрунтується на цілком новому методі генерації та підсилення електромагнетних хвиль завдяки індукованого випромінювання молекул.

Перший мазер був реалізований на струміні молекул аміаку NH_3 . Не будемо докладно зупинятися на будові мазера. Вкажімо лише на три основні конструктивні елементи:

1) джерело молекулярної струмини;

2) сортувальна (й водночас фокусувальна) система, дія якої полягає в тому, що прикладається неоднорідне електричне поле (квадрупольний конденсатор), що зменшується в напрямку осі сортувального пристрою. Оскільки збуджені та незбуджені молекули NH_3 мають протилежні орієнтації електричного дипольного моменту, вони в електричному полі набуватимуть різних траєкторій, тобто сортуватимуться. У результаті з квадрупольного резонатора виходить вузька струмина збуджених молекул;

3) об'ємний резонатор, що точно настроєний на частоту генерації.

Вся система перебуває в герметичній оболонці, де підтримується достатньо високий вакуум ($\sim 10^{-5}$ тор).

Мазер на аміаку генерує на довжині хвилі 1,25 см (частота $\nu = 2,4 \cdot 10^{10}$ Гц).

Інший мазер на струміні атомів водню генерує на довжині хвилі 21 см. Він характеризується більшою стабільністю і його використовують як еталон частоти (часу). До того ж, сучасні мазери суттєво підвищують точність радіозв'язку, зокрема, космічного. Тут широко використовують також інші прилади квантової електроніки – кван-

*Мазер – від англ. MASER походить від перших букв виразу: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation – підсилення мікрохвиль за допомогою індукованого випромінювання.



тові парамагнетні підсилювачі. Останні мають гранично низький рівень власних шумів, оскільки працюють за низької температури.

Подібно до того, як базою робіт для створення генератора на аміаку була газова радіоспектроскопія, базою робіт для створення квантових парамагнетних підсилювачів були дослідження електронного парамагнетного резонансу в кристалах. Явище ЕПР, як відомо, відкрив 1944 року Євген Завойський [7]. Починаючи від 1955 року проводили дослідження ЕПР і часів релаксації в різних кристалах, особливо в рубіні. Перші повідомлення про створення квантового парамагнетного підсилювача безперервної дії на рубіні з'явилися 1958 року [8, 9]. Теоретичні розроблення здійснив Ніколас Бломберген 1956 року [10]. Відтоді рубін і досі є основним робочим матеріалом квантових парамагнетних підсилювачів.

Від мазерів до лазерів

Наступним кроком, який приніс квантовій електроніці величезне визнання, стало створення квантових генераторів оптичного діапазону, тобто лазерів*.

У Нобелівській лекції О. Прохоров звернув увагу на таке: "Здавалося б, що після створення генераторів у радіодіапазоні відразу ж будуть створені квантові генератори і в оптичному діапазоні. Та цього не трапилося. Їх створили лише за 5–6 років. Чим це пояснити? Тут було два затруднення. Перше затруднення полягало в тому, що тоді ще не було запропоновано резонаторів для оптичного діапазону хвиль, і друге – не було запропоновано конкретні системи і методи одержання інверсної заселеності в оптичному діапазоні хвиль".

Першим лазером, який загенерував у видимій ділянці спектра, був рубіновий (Теодор Мейман, 1960 [11]), що працює за трирівневою схемою (рис. 2).

Того ж 1960 року, декілька місяців згодом Пітер Сорокін і Майкл Стівенсон повідомили про одержання генерації на системі $\text{CaF}_2:\text{U}^{3+}$, яка працює за чотирирівневою схемою [12]. Тут у виборі

*Лазер – від англ. LASER (аббревіатура: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – підсилення світла за допомогою індукованого випромінювання).

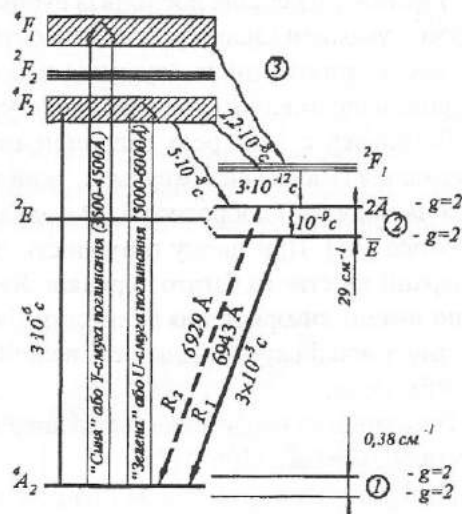


Рис. 2. Енергетична схема та механізм генерації рубінового лазера

активного середовища визначальну роль відіграли праці Петра Феофілова, на які посилаються Сорокін і Стівенсон.

Наприкінці 1960-х років Алі Джаван та Даніел Ерріот (США) одержали генерацію гелій-неонового лазера [13] (рис. 3). Збудження здійснювалося ВЧ-генератором (28 МГц), який забезпечував виникнення в трубі тліючого електричного розряду.

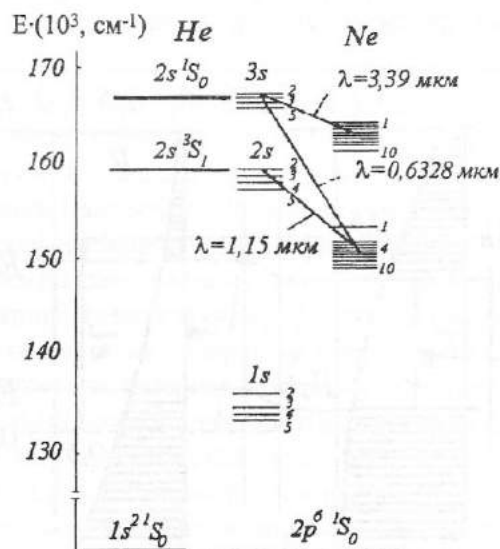


Рис. 3. Енергетичні рівні гелію і неону та генераційні квантові переходи



Уже під час перших дослідів із рубіновим лазером зауважили характерні особливості генерації: високу когерентність, звуження спектра, просторова напрямленість, пічкова структура.

Р. Гельвертс 1961 року запропонував метод одержання гігантських імпульсів, який ґрунтується на модуляції добротності (*Q*-модуляції) резонатора [14]. При цьому потужність імпульсу генерації зростає на багато порядків. Як ми сьогодні знаємо, використання гігантських імпульсів дає змогу досліджувати більшість нелінійних оптичних явищ.

Генерацію на неодимовому склі вперше спостерігав Е. Снітцер (1961) [15].

Далі з'явилася ціла лавина праць, у яких повідомлялося про одержання генерації на нових активних середовищах. Наприклад, за рік після створення першого газового лазера, за свідченням Вільяма Беннета, "...генерацію в безперервному режимі було одержано на 40 різних оптичних переходах, що перекривали спектр від видимої (0,6328 мкм) до середньої ІЧ-ділянки (12 мкм), причому використовувалися 10 різних газових систем і по крайній мірі чотири різних механізми збудження". Те ж можна сказати і про твердотільні лазери.

Уже перші зразки газових лазерів показали їхню привабливість і перевагу над твердотільними лазерами за параметрами часової і просторової когерентності. До того ж, вони працюють у

безперервному режимі, тоді як більшість лазерів на твердому тілі працюють лише в імпульсному режимі. Однак вихідна потужність лазерів на атомарних газах була значно нижча, оскільки концентрація активних частинок у газі набагато менша, ніж у твердому тілі.

Ця ситуація суттєво змінилася п'ятьма роками пізніше з появою молекулярних газових лазерів на CO₂ (Кумар Пател, 1966) [16]. У зв'язку з високою вихідною потужністю і великим к. к. д. лазери на CO₂ відкрили нові перспективи для їхніх застосувань.

Новий клас оптичних генераторів – напівпровідникові лазери – був створений восени 1962 року. Це були інжекційні лазери на GaAs (рис. 4), які створили 1962 року майже водночас Р. Голл, Г. Феннер та ін. [17], М. Натан, В. Думке та ін. [18], Т. Квіст, Б. Лекс та ін. [19] і декілька місяців згодом – В. Багаєв, М. Басов, Б. Вул та ін. [20]. Помітне звуження лінії рекомбінаційного випромінювання зі збільшенням струму через кристал арсеніду галію вперше спостерігали Д. Наследов, О. Рогачов, С. Ривкін і Б. Царенков на початку 1962 року [21].

Від 1963 року розпочалося створення лазерів на *p-n*-переходах інших напівпровідникових матеріалів, на гетеропереходах, а також за інших способів збудження (електронним пучком, оптичне збудження). Проте найпоширенішими стали інжекційні GaAs-лазери та лазери на гетеропере-

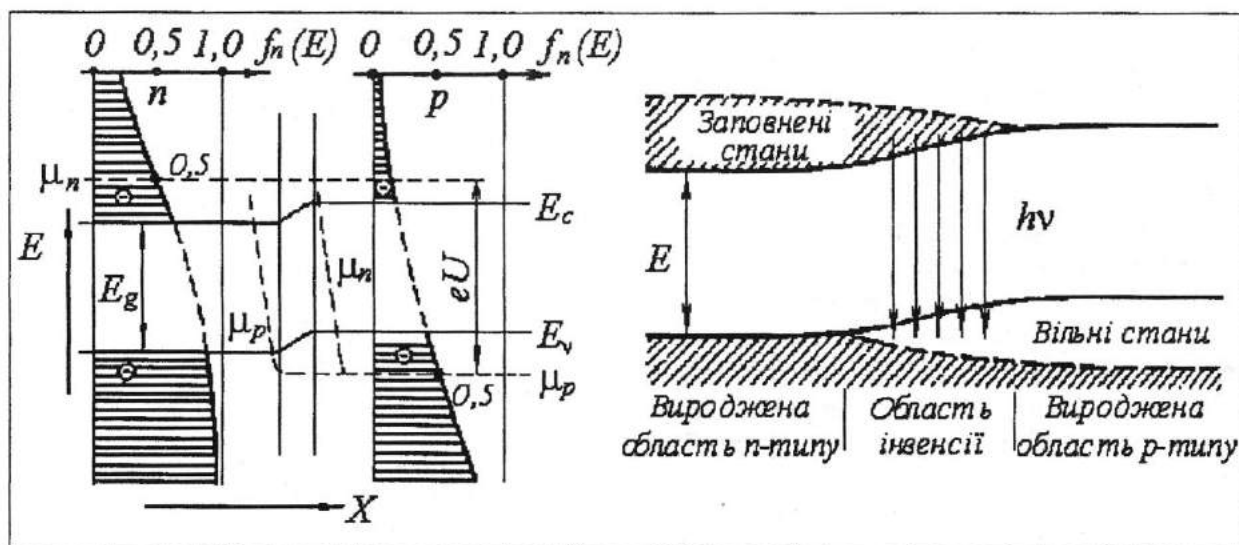


Рис. 4. Зонна діаграма і функції заповнення виродженого *p-n*-переходу під час прямого зміщення. Виникнення інверсної заселеності станів



ходах. Унаслідок багатьох цікавих особливостей (високий к. к. д. – понад 30%, мініатюрність, можливість прямої модуляції з високою частотою до 10^{10} Гц, перекриття широкого спектрального діапазону) ці напівпровідникові лазери стали вигідними в системах зв'язку, опрацювання та передавання інформації.

У створенні рідинних лазерів треба назвати праці Бориса Степанова і його співпрацівників з Інституту фізики Білорусі [22].

На подальших працях з фізики лазерів і лазерної техніки, а також з нелінійної оптики і голографії ми тут не зупиняємося, оскільки це тема окремої публікації.

Дослідження наступних років були вирішальними у становленні квантової електроніки, нелінійної оптики та голографії як самостійних галузей фізики і техніки. Міжнародним визнанням цих досягнень було нагородження Нобелівськими преміями з фізики. Їх отримали:

- Микола Басов, Олександр Прохоров і Чарлз Тавнс за фундаментальні дослідження в галузі квантової електроніки, що привели до створення генераторів і підсилювачів нового типу – мазерів і лазерів (1964);
- Альфред Кастлер за відкриття і розроблення оптичних методів дослідження резонансів в атомах (1966);
- Деніс Габор за відкриття і розроблення голографічного методу (1971);
- Ніколас Бломберген, Артур Шавлов і Кай М. Сітбан за внесок у розвиток лазерної спектроскопії (1981);
- Стівен Чу, Клод Коен-Тануджі, Вільям Д. Філіпс за розроблення методів охолодження та локалізації атомів лазерним випромінюванням (1997);
- Жорес Алфьоров, Герберт Кремер за фундаментальні праці в галузі інформатики та комунікаційних технологій, за розвиток напівпровідникових гетероструктур, які використовують у високошвидкісній оптоелектроніці (2000);
- Рой Глаубер, Джон Голл, Теодор Генш за внесок у розвиток лазерної спектроскопії (2005).

Розмаїття лазерів та сучасний лазерний ринок

Лазери класифікують за типами активних середовищ (газові, твердотільні, рідинні, напівпро-

відникові), енергетичними схемами (3-, 4-рівневі), способами збудження (хемічні, інжекційні, газодинамічні), режимами генерації (імпульсні, безперервної дії), особливостями оптичних схем резонаторів (одномодові, одночастотні, з керованою добротністю, з керованою частотою генерації тощо), специфікою застосувань (технологічні) та ін.

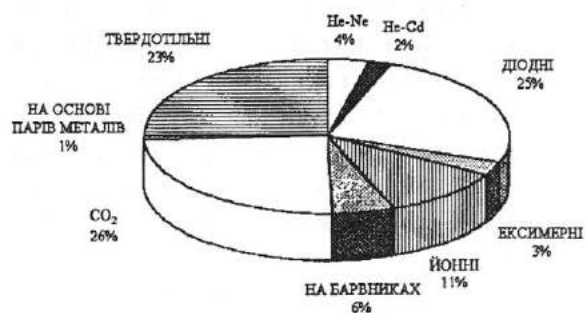


Рис. 5. Розподіл світового ринку лазерної техніки

Сьогоднішній стан відзначається двома особливостями: з одного боку, йде поглиблене вивчення фізичних явищ і механізмів квантових процесів у лазерних матеріалах, процесів взаємодії когерентного випромінювання з речовиною, пошук нових лазерних та нелінійно-оптичних матеріалів, з іншого, випуск нових типів цих приладів та чимраз більше розширення поля їх застосувань. Нині кожний навчальний заклад, більшість наукових, освітніх, медичних закладів і заводських лабораторій використовують лазери.

У різних країнах успішно працюють десятки потужних фірм, що серійно випускають лазерну техніку. Найпопулярнішими на лазерному ринку є газові, напівпровідникові, твердотільні та рідинні лазери (див. діаграму – рис. 5). Набувають популярності також ексімерні лазери, лазери на випарних металах, хемічні лазери, а також низка "екзотичних" лазерів, в яких використовують спеціальні способи збудження. Щодо сучасної лазерної техніки, то потрібно зазначити, що важливу роль відіграють пристрої для керування параметрами лазерного випромінювання. Це переважно нелінійно-оптичні перетворювачі частот лазерної генерації, оптичні системи для кореляції фронту хвилі випромінювання, оптичні адаптивні системи тощо.



Внесок українських дослідників

Помітний внесок у розвиток квантової електроніки, нелінійної оптики та голографії здійснили українські фізики.

В Україні систематичні дослідження з квантової електроніки було розпочато 1961 року в Інституті фізики АН УРСР, який досі зберігає в цій галузі провідне становище і за масштабом робіт, і за науковими кадрами. Апостеріорно, в історичному аспекті, не можна не згадати праць Дмитра Рожанського з фізики газового розряду та радіофізики у Харківському університеті (1911–1921), а також досліджень Станіслава Лорії з аномальної дисперсії світла в 1930-х роках у Львівському університеті, які мали дотичність до обговорюваної проблеми.

Першим пріоритетним завданням, за розв'язання якого взялися науковці Інституту фізики, було здійснення *плавного керування частот* лазерного випромінювання. Для цього 1963 року було запропоновано та розроблено *дисперсійні резонатори*, що дало змогу керувати спектром генерації майже без зниження к. к. д. Цим було започатковано дослідження *з лазерної спектроскопії*, які згодом набули розвитку ще й на інших методичних засадах, зокрема, методом т. зв. *світування*.

У випадку напівпровідникових лазерів керування частотою генерації вдалося здійснити завдяки зміні складу твердих розчинів напівпровідників групи $A^{II}B^{VI}$ (CdS_xSe_{1-x} , $CdSe_xTe_{1-x}$, $Zn_xCd_{1-x}S$, $Zn_xCd_{1-x}Se$) за умови двофотонного збудження рубіновим лазером за низьких температур (4,2–300 K).

Було розроблено способи одержання керованого одночастотного режиму генерації (ширина спектра менша від $0,005 \text{ см}^{-1}$) з використанням кільцевих дисперсійних резонаторів.

За розроблення фізичних основ керування частотою вимушеного випромінювання та створення відповідних лазерів групу працівників Інституту фізики АН УРСР (М. С. Бродина, В. Й. Кравченка, В. Я. Різниченко, М. С. Соскіна, Є. О. Тихонова, М. Т. Шпака), Інституту напівпровідників АН УРСР (М. І. Витрихівського) та Інституту радіофізики і електроніки АН УРСР (М. І. Дзюбенка) 1974 року нагородили Державною премією УРСР.

Серед теоретичних праць українських фізиків у царині квантової електроніки відзначмо праці С. І. Пекара щодо теорії хемічних лазерів, В. С. Маш-

кевича (кінетична теорія лазерів, теорія вимушеного комбінаційного розсіювання), А. М. Ратнера щодо спектрально-кінетичних характеристик лазерів, М. В. Кухтарєва (теорія і механізми запису об'ємних фазових динамічних голограм).

Від 1960-х років в Україні (Києві, Харкові, Львові) розпочали дослідження, а невдовзі сформувався напрям нелінійної кристалооптики неметалевих кристалів. Пріоритетні напрями цих досліджень: двофотонна спектроскопія напівпровідників, генерація гармонік, параметричні явища в кристалах, явища самовпливу (самофокусування і самодефокусування), вивчення фоторефрактивних явищ і динамічна голографія, вимушене комбінаційне розсіювання.

У Львівському національному університеті імені Івана Франка досліджують енергетичну структуру нелінійних кристалів. Сформульовано кристалофізичні критерії пошуку та синтезу нових матеріалів для лазерних перетворювачів і цим закладено фізичні основи нелінійнооптичного матеріалознавства.

Учені України зробили вагомий внесок у розвиток голографії, зокрема вивчення нових механізмів та створення нових середовищ для запису голограм у режимі реального часу. В цього напрямі вони посідають провідне місце в світовій науці. Розпочалися ці дослідження з оптичної голографії 1966 року в Інституті фізики НАН України за ініціативи А. Ф. Прихотько.

Голографічний метод корекції хвильових фронтів розробляли в Інституті фізики, Інституті напівпровідників, а також у Київському та Чернівецькому університетах.

Над пошуком матеріалів для реверсивного запису голограм успішно працюють науковці Київського, Львівського, Ужгородського та Чернівецького університетів. У Київському університеті ім. Т. Г. Шевченка під керівництвом М. Г. Находкіна у 1960-х роках було проведено дослідження, що заклали фізичні основи запису інформації у фазових термопластичних середовищах.

В Україні вперше застосовано об'ємні фазові голографічні ґратки з високою дифракційною ефективністю у ролі дисперсійних елементів систем керування частотами лазерної генерації.

Треба також зазначити пріоритет українських фізиків для застосування художньої голографії в



музейній справі, а також у впровадженні голографічних товарних знаків тощо.

В Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона та Національному університеті "Київський політехнічний інститут" успішно проводять дослідження та розроблення лазерних технологічних комплексів.

У Києві, Одесі, Харкові та Львові ведуть комплексні дослідження і впроваджують нові методи з лазерної медицини. Хоч назвати усіх українських дослідників у царині квантової електроніки,

нелінійної оптики та голографії (а це сотні важливих праць) неможливо, все ж імена тих, чий здобутки визнані науковою громадськістю та за які їх нагороджено престижними відзнаками і преміями, згадаймо. Цей перелік подано в таблиці, а прізвища дослідників – за абеткою. Для економії місця, не вказано посад та звань, а також місць праці дослідників, оскільки зацікавлений читач може легко знайти ці відомості в енциклопедіях і довідниках. Перелік не вичерпний, але й він дає уявлення про обсяг робіт з цієї галузі в Україні.

Таблиця

Наукові дослідження та нові розроблення з квантової електроніки, нелінійної оптики і голографії в Україні

Дослідники	Напрями досліджень та розроблення
Бродин М. С.	Лазерна спектроскопія. Лазери з керованою частотою генерації. Напівпровідникові лазери з двофотонним збудженням. Міні-лазери. Нелінійна оптика: явища самофокусування та дефокусування; оптична бістабільність; міжмодові взаємодії; фоторефрактивні ефекти. Динамічна голографія.
Влох О. Г.	Параметрична кристалооптика. Електрооптичні модулятори.
Гамалія М. Ф.	Піонерські дослідження з лазерної медицини.
Головей М. І.	Синтез нелінійнооптичних кристалів.
Горбань І. С.	Явище від'ємної дисперсії в рубіні. Ексімерні лазери.
Данилейко В. М.	Лазерна спектроскопія надвисокого розділення. Кільцеві лазери.
Запісочний І. П.	Газорозрядні лазери на самообмежених переходах.
Коваленко В. С.	Технологічні лазерні комплекси.
Кондilenко І. І.	Вимушене комбінаційне розсіювання.
Кравченко В. Й.	Свіплазери.
Кухтарев М. В.	Теорія міжхвильових взаємодій та механізми запису фазових динамічних голограм.
Лисиця М. П.	Двофотонне поглинання. Пасивні Q-модулятори. Фундатор і головний редактор збірника "Квантова електроніка" (вийшло понад 40 випусків).
Машкевич В. С.	Кінетична теорія лазерів.
Находкін М. Г.	Термопластики для голографії.
Одулов С. Г.	Динамічна голографія.
Остапченко Є. П.	Технологія газових лазерів.
Патон Б. Є.	Ініціатор розроблення лазерних зварювальних комплексів.
Пекар С. І.	Теорія хемічних лазерів.
Прихотько А. Ф.	Ініціатор досліджень з фізики лазерів та голографії в Інституті фізики НАН України.
Соскін М. С.	Лазерна спектроскопія. Дисперсійні резонатори. Лазери з керованою частотою генерації. Динамічна голографія. Сингулярна оптика.
Тихонов Є. О.	Рідинні лазери на розчинах барвників.
Шпак М. Т.	Лазерна спектроскопія. Рідинні лазери на розчинах органічних поліметилових барвників. Пасивні Q-модулятори.



Згадаймо також видатного американського фізика українського походження професора Іллінойського університету Миколу Голоняка, учня двічі лауреата Нобелівської премії Джона Бардіна, який був одним з перших, хто створив та досліджував лазери на гетеропереходах. Ці дослідження успішно розвинув російський фізик Жорес Алфьоров, за що 2000 року його нагородили Нобелівською премією. (Свого часу Жорес Іванович стажувався в лабораторії М. Голоняка).

Треба зазначити, що саме завдяки технологічному опануванню напівпровідникових гетероструктур лазерні діоди набули обрисів сучасних пристроїв з такими вигідними параметрами, як компактність, легко керовані режими генерації, рекордні к. к. д., достатньо високі потужності, вигідні спектральні ділянки генерації. Тому не дивно, що ці лазери останнім часом впевнено завойовують щораз вищі ринкові позиції і за номенклатурою, і за обсягами збуту серед інших пристроїв квантової електроніки. Їх широко застосовують у системах оптичного зв'язку, пристроях запису та відтворення інформації, у всіх відомих лазерних принтерах, далекомірах, мірниках швидкостей, у системах наведення високоточної зброї тощо.

Стосовно гетеролазерів можна з впевненістю стверджувати, що резервні можливості щодо поліпшення їхніх параметрів ще не вичерпані, віримо, що допитливі читачі нашого журналу ще будуть свідками вражаючих здобутків у цьому напрямі досліджень. Взяти хоча б заманливі перспективи пристроїв на основі наноструктур.

Нині в Україні є багато наукових центрів, де проводять дослідження з лазерної проблематики, насамперед в академічних інститутах фізичного та суміжних профілів, а також у багатьох закладах вищої освіти.

Сучасні горизонти та найближчі перспективи

Розвиток квантової електроніки наочно демонструє роль фундаментальних досліджень і наукових відкриттів для практичних застосувань на користь суспільства та економіки.

Оглядаючи 50-річний набуток квантової електроніки, належить назвати хоча б декілька вражаючих прикладних напрямів, пов'язаних з викорис-

танням лазерів та інших приладів цього класу. Звичайно ж, цей перелік не може бути вичерпним.

1. Генерація надкоротких світлових імпульсів

Останніми роками розроблено серійні лазери фемтосекундних імпульсів, що генерують у широкій спектральній ділянці імпульси тривалості $\tau \approx 4 \cdot 10^{-15}$ с. Просторова протяжність такого імпульсу приблизно дорівнює одній довжині хвилі ($\lambda \approx 1$ мкм). Такі імпульси дають змогу "фотографувати" надшвидкі атомно-молекулярні процеси, наприклад, при кінетиці хемічних реакцій. Оскільки фемтосекундні лазери дають світлові імпульси надвисокої густини потужності, можемо говорити про новий інструмент досліджень у царині нелінійно-фізичних явищ.

2. Глобальна система оптоволоконного зв'язку

Сьогодні досягнуто такого технологічного рівня, що за швидкістю передавання інформації один оптоволоконний канал досяг 10^{10} біт/с, що дає змогу передавати одночасно понад 10^3 телевізійних програм.

3. Лазерна медицина – це новий напрям, що має великі перспективи.

4. Запис та зберігання великого обсягу інформації

Використання лазерних компакт-дисків "CD" нині звична річ навіть на побутовому рівні. Ці технології, як відомо, добре освоєні й в Україні. Їх постійно удосконалюють. Зокрема використання короткохвильових (синя ділянка спектра) лазерів на GaN-діодах обіцяє суттєво збільшити щільність запису, а за умови пошарового запису на декількох різних довжинах хвиль дасть змогу найближчим часом досягти ще більшої щільності запису інформації та швидкості її зчитування.

5. Лазерний термоядерний синтез (ЛТС)

Цей проект розробляють уже понад 40 років, надавши йому останнім часом міжнародного статусу. Поки що йдеться лише про науково-дослідну стадію проекту. Найближчі сподівання пов'язують з можливістю використання нового покоління лазерів (див. п. 6).

6. Високоєфективні твердотільні лазери з "діодним збудженням", тобто зі збудженням напівпровідниковими ("діодними") лазерами. Останні мають високі к. к. д. (до 70%), окрім того, вони



компактні. Потужність одного лазерного діода може досягати 20 Вт. Використання ланцюжків таких діодів як джерел збудження кристалічних, скляних та волоконних лазерів останнім часом буквально привело до революції у лазерній техніці. Крім проекту ЛТС, ці комплекси успішно використовують у машинобудуванні. Наприклад, на автомобільних заводах фірми "Фольксваген" функціонують понад 500 зварювальних лазерних комплексів цього типу. До речі, дослідження з лазерного зварювання та лазерного оброблення твердих і надтвердих матеріалів було розпочато в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона ще з 1965 року. Лазерне зварювання має низку суттєвих переваг: вищу точність, рівність та чистоту зварних швів, відсутність великих зон прогріву, а звідси й деформацій.

Ця технологія виявилася ефективною також для виготовлення "композитних" матеріалів тощо.

7. Лазерний екологічний моніторинг, активні системи точного позиціонування

Лідари, лазерна локація, активні далекоміри тощо широко застосовують у різних галузях (геодезії, космонавтиці, екології, військовій техніці, зокрема, т. зв. "зброя точного наведення").

8. Лазерне охолодження (сповільнення) атомів

Цим способом вдалося знизити температуру атомної газової системи до величини порядку 10^{-9} К і вперше мати змогу експериментально вивчати квантово-статистичні закономірності низькотемпературної поведінки ансамблю бозе-частинок (конденсація Бозе-Айнштайна).

9. Квантові стандарти частоти-часу

Досягнуто стабільності частоти квантових генераторів $\frac{\Delta\omega}{\omega} \sim 10^{-15}$. Це відповідає такій самій точності вимірювання часових проміжків. Іншими словами, "годинник" такої точності дає похибку 1 с за інтервал 10^{15} с, тобто за 100 млн років. Як відомо, Міжнародна служба часу, що працює в НВЧ-діапазоні частот, поки що цього квантового стандарту не досягла, проте є підстави сподіватися, що найближчими роками це стане реальністю.

10. Рентгенівські лазери, практичне розроблення, яких розпочали в 1980-х роках (Ліверморська

лабораторія, США), найближчими роками мають перспективу стати звичним настільним інструментом для високоточного дослідження структури матеріалів, а також для медицини.

Логіка розвитку квантової електроніки

У логіці розвитку квантової електроніки є деякі характерні й цікаві особливості.

Зокрема виникають запитання:

1. Чому перші квантові прилади були винайдені в середині 1950-х років, хоч у принципі вони могли бути створені значно раніше?

2. Закономірно чи випадково квантова електроніка розвивалась від радіо- до оптичного діапазону?

Загалом, основні засади квантової електроніки не накладали жодних частотних обмежень і могли бути застосовані для оптичного та навіть рентгенівського діапазонів. Чому ж все таки на першому етапі їх вдалося реалізувати лише в радіодіапазоні?

Щоб відповісти на ці запитання, потрібно якраз простежити за логікою розвитку квантової електроніки.

Основні фізичні поняття (стимульоване випромінювання, його когерентність, умова інверсної заселеності) було сформульовано стосовно оптичного діапазону. Тому природно було очікувати, що саме оптиків насамперед має зацікавити проблема практичного використання індукованого випромінювання. Насправді ж вийшло інакше: перші квантові прилади (мазери) створили радіоспектроскопісти, і лише після цього квантова електроніка поширилась на оптичний діапазон: від оптики (формулювання основних фізичних засад) до радіодіапазону (створення мазерів) і знову до оптики (створення лазерів). Щоб зрозуміти причини такого розвитку квантової електроніки (своєрідна петля – рис. 6), треба проаналізувати коло проблем, які стояли перед радіофізикою після Другої світової війни.

У зв'язку з виникненням таких нових галузей, як радіолокація і телебачення, радіорелейні лінії зв'язку і телекерування, радіоспектроскопія і радіонавігація, космічні зв'язки тощо, для повоєнного етапу розвитку радіофізики і радіотехніки характерним був перехід на щораз коротші довжини хвиль. Ця тенденція спостерігалася у радіо-

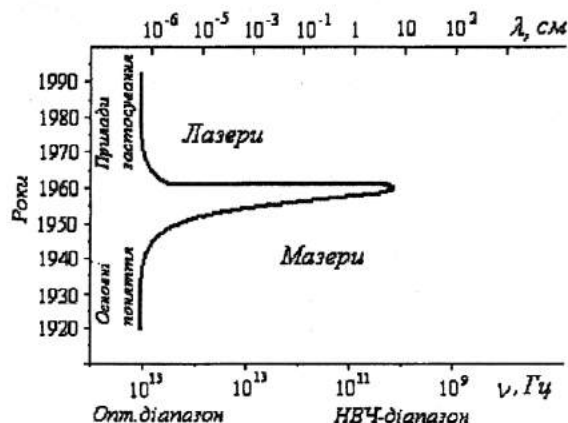


Рис. 6. Виникнення квантової електроніки (умовна діаграма)

електроніці ще з початку ХХ ст. і тісно була пов'язана з прогресом у розробленні нових фізичних методів генерації та підсилення електромагнетних хвиль (клістри, магнетрони та ін.).

Вищі частоти (менші довжини хвиль) забезпечують нові переваги радіоапаратури: 1) зростання обсягу передаваної інформації; 2) підвищення напрямленості радіозв'язку, що приводить до збільшення дальності зв'язку за однакової потужності передавача (це особливо було потрібно для радіолокації); 3) кращий захист від радіоперешкод.

Склалася критична ситуація: з одного боку, зі зменшенням (наприклад, зменшення робочої довжини хвилі радара від 3 до 1,25 см) з'ясувалося, що таке електромагнетне випромінювання інтенсивно поглинають молекули атмосфери, особливо водяна пара. Ця невдача стимулювала розвиток радіоспектроскопії, яка вивчає взаємодію мікрохвильового випромінювання з молекулами і атомами різних речовин. З іншого боку, найважливіша частина генератора, яка вимагає старанного виконання й налаштування, а саме резонатор, повинен мати розміри $\sim \lambda$, через що різко знижувалася генерована потужність. Треба було шукати принципово нових методів підсилення. Нарешті, потрібно було забезпечити стабільність частоти генерації.

Підсумуймо: у радіофізиці 1950-х років виникла гостра потреба освоювати коротші довжини хвиль і водночас з'ясувалася неможливість ство-

рювати на основі традиційних фізичних методів високостабільних, досить потужних і з малими шумами приладів для цього діапазону. Іншими словами, фізики зіткнулися зі, здавалось би, нездоланними суперечностями. У такому разі, за гегелівським законом діалектичної суперечності, має настати момент, коли вони можуть вирішитися лише шляхом переходу до нової якості. Так виникла квантова радіофізика, фундаментом якої є індукване випромінювання. Це, з нашого погляду, є відповіддю на перше запитання. А саме, незважаючи на те, що явище індукваного випромінювання було передбачено ще 1916 року, а до 1940 року було сформульовано умову його експериментального спостереження в оптиці, практичне використання індукваного випромінювання не могло розпочатися в 1930–1940-х роках. Тоді перед фізикою стояли інші важливі завдання та інші практичні вимоги. Ця суперечність у радіофізиці назріла тільки на початку 1950-х років.

Розвиток квантової електроніки не міг розпочатися з оптичного діапазону, бо завдання підсилення світла тоді не здавалось практично важливим. Зішлімося на висловлювання Ч. Тавнса стосовно ідеї лазера [3]: "Новий прилад був настільки далекий від звичних уявлень, що його практична цінність була зрозумілою не кожному. Патентний відділ компанії "Белл телефон" спочатку відмовився запатентувати наш підсилювач та генератор оптичного діапазону, оскільки, як було сказано, оптичні хвилі ніколи не були корисними для систем зв'язку..."

Отже, розвиток квантової електроніки міг йти тільки одним шляхом: від радіодіапазону до оптичного.

Якою буде логіка подальшого розвитку квантової електроніки – покаже час.

Література

1. Прохоров А. М. Квантовая электроника// Успехи физ. наук. – 1965. – Т. 85, № 4. – С. 587–604.
2. Таунс Ч. Получение когерентного излучения с помощью атомов и молекул//Успехи физ. наук. – 1966. – Т. 88, № 3. – С. 461–483.
3. Таунс Ч. Квантовая электроника и технический прогресс// Успехи физ. наук. – 1969. – Т. 98, № 1. – С. 159–167.



4. Дунская И. М. Возникновение квантовой электроники. – М.: Наука, 1974. – 160 с.
5. Einstein A. Strahlungs-Emission und-Absorption nach der Quantentheorie// Verhandl. dtsch. phys. Ges. – 1916. – Bd. 18. – S. 318–323. – Phys. Zeit. – 1917. – Bd. 18, N 6. – S. 121–128.
6. Фабрикант В. А. Механизм излучения газового разряда// Труды ВЭИ. – 1940. – Вып. 41. – С. 236–366.
7. Завойский Е. К. Парамагнитная абсорбция в перпендикулярных и параллельных полях для солей, растворов и металлов. Докт. дисс. Казанский ун-т, 1944.
8. Зверев Г. М., Корниенко Л. С., Маненков А. А., Прохоров А. М. Парамагнитный усилитель и генератор на хромовом корунде// ЖЭТФ. – 1958. – Т. 36, № 6. – С. 1660–1661.
9. Makhov G., Kikuchi C., Lambe J., Terhune R. W. Maser action in ruby// Phys. Rev. – 1958. – Vol. 109, N 4. – P. 1399–1400.
10. Blombergen N. Proposal for a new type solid state maser// Phys. Rev. – 1956. – Vol. 104, N 2. – P. 324–327.
11. Maiman T. H. Optical and microwave-optical experiments in ruby// Phys. Rev. Letters. – 1960. – Vol. 4, N 11. – P. 564–566.
12. Maiman T. H. Stimulated optical radiation in ruby// Nature. – 1960. – Vol. 187, N 4736. – P. 493–494.
13. Sorokin P. P., Stevenson M. J. Stimulated infrared emission from trivalent uranium// Phys. Rev. Letters. – 1960. – Vol. 5, N 12. – P. 557–559.
14. Javan A., Bennett W. R., Herriott Jr. a. D. R. Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture// Phys. Rev. Letters. – 1961. – Vol. 6, N 3. – P. 106–110.
15. Hellwarth R. W. Control of fluorescent pulsations// Advances in Quantum Electronics. – N. Y.; London, 1961. – P. 334–341.
16. Snitzer E. Optical maser action of Nd³⁺ in a barium crown glass// Phys. Rev. Letters. – 1961. – Vol. 7, N 12. – P. 444–446.
17. Patel C. K. N. High-power molecular lasers and their application to investigation of nonlinear optical phenomena in the infrared// IEEE J. Quantum Electronics. – 1966. – Vol. QE-2, N 4. – P. 28.
18. Hall R. N., Fenner G. E., Kingsley J. D., Soltys T. J., Carlson R. O. Coherent light emission from GaAs Junctions// Phys. Rev. Letters. – 1962. – Vol. 9, N 9. – P. 366–368.
19. Nathan M. I., Dumke W. P., Burns G., Dill F. H., Lasher G. Stimulated emission of radiation from GaAs p-n junctions// Appl. Phys. Letters. – 1962. – Vol. 1, N 3. – P. 62–64.
20. Quist T. M., Rediker R. H., Keyes R. J., Krag W. E., Lax B., McWhorter A. L., Zeiger H. J. Semiconductor maser of GaAs// Appl. Phys. Letters. – 1962. – Vol. 1, N 4. – P. 91–92.
21. Багаев В. С., Басов Н. Г., Вул Б. М., Копыловский Б. Д., Крохин О. Н., Маркин Е. П., Попов Ю. М., Хвошев А. Н., Шотов А. П. Полупроводниковый квантовый генератор на р-п- переходе в GaAs// ДАН СССР. – 1963. – Т. 150, № 2. – С. 275–278.
22. Наследов Д. Н., Рогачев А. А., Рывкин С. М., Царенков Б. В. Рекомбинационное излучение арсенида галлия// ФТТ. – 1962. – Т. 4, № 4. – С. 1062–1065.
23. Степанов Б. И., Рубинов А. Н. Оптические квантовые генераторы на растворах органических красителей// Успехи физ. наук. – 1968. – Т. 95, № 1. – С. 45–74.

Чи знаєте Ви, що...

Офіцер-зв'язківець армії США Джон Муллін (John Mullin) восени 1945 року в будинку "Радіо Франкфурта" в Німеччині виявив магнетофони і 1000-метрові бобини з 12-міліметровою магнетною стрічкою виробництва компанії "BASF". Ємність бобін дозволяла 20 хвилин запису. Два апарати разом із 50 бобинами стрічки було відправлено до США. 16 травня 1946 року Дж. Муллін продемонстрував німецькі магнетофони в Сан-Франциському інституті радіоінженерів. За трофейними німецькими взірцями компанія "Атрех" почала розробляти перший магнетофон в США. Першу партію з 200 магнетофонів "Атрех" було випущено 1948 року. Ацетатну магнетну стрічку на основі окису заліза для цих магнетофонів виготовила американська компанія "Minnesota Mining and Manufacturing".



Один з магнетофонів, які "знайшов" капітан Дж. Муллін



Перший професійний магнетофон фірми "Атрех" (США, 1948)



Якби Моцарт жив сьогодні...

Роман Шопа,

викладач природничого коледжу Львівського національного
університету імені Івана Франка

Століттями людина намагалась, заслуговуючись природними звуками, творити власне мистецтво за допомогою звуку. Перші історичні свідчення про музику сягають чи не часів неандертальців. Мало хто знає, що флейту винайшли 6 тисяч років тому, а перший праобраз органу з'явився ще до народження Христа. Різні культури по-різному витворювали своє бачення світу звуків, а, коли вони всі перетнулись і, як здавалось, знайшли спільну основу, було навіть фізично обґрунтовано принцип побудови найхитромудріших композицій – від гуцульських співанок до індіанських заклинань, від дитячих пісень до симфоній Бетговена. Часто полюбляють говорити, що багатство музики нескінченне, хоча є лише 7 нот, 12 півтонів, 88 клавіш фортепіано. А хто придумав ці 12 півтонів? А як додумались до конструкції рояля? І взагалі, яка фізика може бути схована за високими трубами церковного органу? Як ми можемо помістити звук у таку маленьку річ, як сопілка, ба навіть, як його зробити приєм-



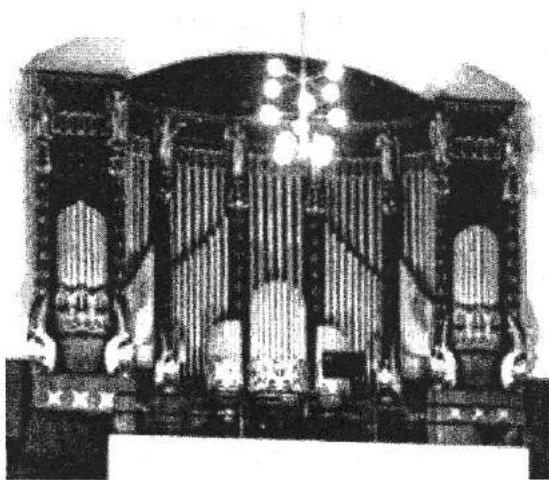
Видатний австрійський композитор
Вольфганг Амадей Моцарт (1756–1791)

ним для людського вуха. Паралельно виникає й інше запитання, менш очевидне: чи це кінець і куди далі?

Якщо простежити за еволюцією музики як такої, бачимо, що неодмінний вплив на неї мали досягнення саме фізики. Що більше ставало відомо про природу звуку і способи керування ним, то більше вдосконалювали музичні інструменти і відповідно, змінювалась музика.

Герой п'єси німецького письменника Патріка Зюскінда "Контрабас" зазначав, що по-справжньому легко було писати твори лише В.-А. Моцартові (в січні 2006 року виповнюється 250 років від дня народження цього видатного австрійського композитора), адже до нього в класичній музиці не було загалом нічого, хіба що доробок Йогана Себастьяна Баха (1685–1750). Поставмо дивне, з першого погляду, запитання: якби Моцарт жив сьогодні, яку б музику він творив? І що б він зіграв, якби сів за сучасний синтезатор, поряд з комп'ютером і набором секвенсорів?

Спробуймо відповісти на це запитання, мислячи більше як фізики, проаналізувавши коротко те, що ми знаємо про звук, про еволюцію музич-



Орган винайшли понад дві тисячі років тому



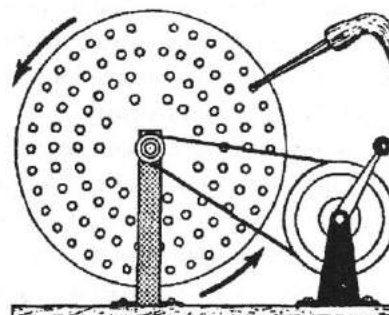
них інструментів, зокрема, природи видобуття з них музики, а передусім, як з'явилися ці сакраментальні 7 нот.

Пересічна людина щоденно стикається з безліччю різноманітних звуків навколо. Це можуть бути різноманітні шуми, доволі неприємні на слух, звуки природні (шелест листя, шум води чи крик птахів), що краще сприймаються, а також звуки, які ми називаємо музичними.

Що їх поєднує і що відрізняє? Передусім слід сказати, що людське вухо сприймає не всі коливання, які створюються у природі. Ми не чуємо звуків під водою, не чуємо звуків багатьох птахів і комах, і навіть не всі коливання, що виникають у музичних інструментах, які придумала людина.

Звук у повітрі поширюється у вигляді повздовжніх коливань, адже газове середовище пропускає лише такі коливання. У повздовжніх хвилях коливання частинок приводять до того, що в газі виникають ділянки згущення і розрідження, які випереджують одна одну. Те, що повітря виконує роль провідника звуку, було доведено на досліді, який поставив Р. Бойль 1660 року. Відкачавши повітря з-під дзвона за допомогою насоса, ми не зможемо почути електричного дзвінка, що там є.

Розгляньмо нескладну конструкцію електричної сирени. Звук виникає тоді, коли ми вдуваємо повітря через скляну трубку під час обертання диска в ряди отворів, розміщених по дотичній в певному порядку. Якщо отвори розміщені рівновіддалено один від одного, ми почуємо приємні (музичні) звуки, якщо ж нерівномірно – доволі неприємні (шум). Отже, можна зробити висновок, що для створення музичного звуку потрібно, аби різні коливання були кратні між собою. Вони виникають під час коливань струн, камертонів тощо. Інші звуки, як от від руху трамвая по рейках, не відповідають згаданому критерієві й їх не можна назвати музичними. Правда, слід зазначити, що



Сирена може слугувати простим прикладом побудови діатонічної гами

ми не враховуємо тут людського чинника (крик дитини для батьків є музикою), та й навіть у сучасному мистецтві можна зустріти безліч "немузичних" звуків, зокрема в електронній музиці.

Спробуймо на прикладі сирени пояснити, як поділяють звуки в музиці на тони. Скажімо, диск обертається зі швидкістю 10 об/с. Тоді залежно від кількості отворів на ньому ми одержимо звуки різних частот (зауважмо ще раз, що отвори рівновіддалені один від одного). Нехай на диску буде 8 рядів отворів, а саме з 24, 27, 30, 32, 36, 40, 45 і 48 отворами. Помірявши частоти звуків, які виникають, отримаємо, як не дивно, всі тони мажорної діатонічної гами з частотами (див. табл.).

Зауважмо, що в сучасній музиці ноту "сі" часто позначають як В, тоді як у класичній В – це "сі-бемоль", а чисте "сі" позначають як Н.

Тон із частотою 256 Гц є нотою "до" (С) середньої, або першої, октави. Подана в таблиці послідовність є не чим іншим, як гамою: натуральним до-мажором, з нотою "до" як тонікою або основним тоном. Уззявши ноти С, Е і G, бачимо, що їхні частоти співвідносяться як 4:5:6. Групу тонів з таким співвідношенням називають мажорним тризвуком. Інші групи тонів – F, A, C' і G, H, D1 ("ре" вищої октави) утворюють субдомінантний і доміантний тризвуки відповідно.

Кількість отворів	24	27	30	32	36	40	45	48
Частота коливань за секунду	256	288	320	341,3	384	426,6	480	512
Числове відношення коливань	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
Тони	С	D	E	F	G	A	B(H)	C'
Назви	до	ре	мі	фа	соль	ля	сі	до



Співвідношення частот має виконуватись для будь-якої мажорної діатонічної гами, звідки б ми її не починали. Якщо за тоніку взяти іншу частоту (ноту), можна побудувати іншу гаму. У цьому випадку важливими стануть не стільки частоти тонів гами, не різниця частот між ними, а їхні відношення. Відношення частот двох нот називають музичними інтервалами. Наприклад, відношення частот між нотами С' і С становить 2:1 і утворює інтервал октаву. Між Е і С співвідношення дорівнює 5:4, його називають великою терцією. Інші важливі інтервали – чиста кварта (4:3), чиста квінта (3:2) і мала терція (6:5). Однак поданих частот (нот) у таблиці стає недостатньо для побудови якоїсь іншої гами. Наприклад, для гами ре-мажор нам потрібні додаткові тони. На прикладі клавіатури фортепіано, можемо зрозуміти, для чого потрібні чорні клавіші.

Дванадцять клавіш на октаву і відповідних тонів достатньо для побудови всіх відомих гам і вводити додаткові нам не потрібно. Проте слід зауважити, що, дотримуючись числового співвідношення для коливань і тонів під час побудови гами ре-мажор, ми побачимо, що частоти для деяких нот не збігаються з відповідними частотами в до-мажорі. Якщо ми будуватимемо ідеальні гами для всіх клавіш, то нам доведеться вводити ще майже 70 клавіш на октаву. Зрозуміло, що грати на такому інструменті було б надзвичайно важко.

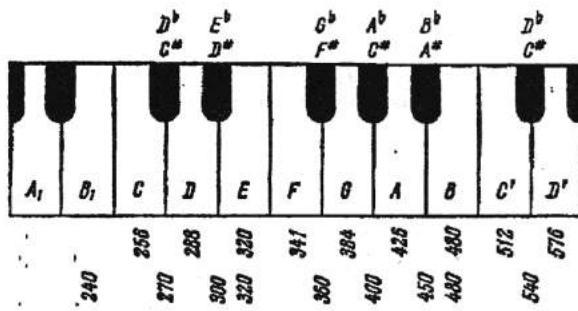
Це завдання розв'язано використанням так званої рівномірної темперованої гами, яку вперше запропонував Й.-С. Бах. Розбіжності в частотах між такою гаммою і гамами ідеальними настільки незначні, що ними можна знехтувати (навіть люди з абсолютним слухом важко вловлюють різницю). Октаву поділяють на 12 рівних інтервалів або пів-

тонів, кожен з яких відрізняється від іншого в співвідношенні, що дорівнює $\sqrt[12]{2}$. Водночас різниця між октавою зберігається 2:1.

Для більшості фізиків стандартом висоти тону є нота "до" (С) першої октави – 256 коливань за секунду. Узавши її за основу, можна побудувати рівномірно темперовану гаму. Музичні інструменти налаштовують аналогічно, взявши за орієнтир певну частоту першої октави. Для фізиків "ля" має частоту 420,6 Гц. Раніше в музичних колах користувались різними стандартами. Концертна висота тону, якою нині рідко користуються, становила 271 Гц, що дає для "ля" майже 450 Гц, тобто дещо підвищений тон. Міжнародний стандарт висоти тону для "ля" давав 435 Гц, проте сьогодні у світі використовують стандарт частоти, прийнятий Американською федерацією музикантів – 440 Гц для "ля".

Людське вухо так збудоване, що воно сприймає лише деякі частоти коливань у хвилі, та й то дуже залежить від середовища, у якому поширюються хвилі. У воді ми не почуємо високих частот, а в повітрі, насиченому гелієм (у батискафах, у яких спускаються на велику глибину), самі не можемо відтворити низьких частот. Але якщо взяти за середовище звичайне повітря, то діапазон чутних вухом коливань лежить у межах 20 Гц – 20 кГц. Щоправда, рідко хто чує частоти вище від 16 кГц, а найнижчу чутну частоту 16 Гц, яку видає орган, хоч і рідко використовують у музиці. Однак частота 27,5 Гц – тон, який цілковито ясно сприймається вухом. Це "ля" контроктави, найнижча нота, що видобувається роялем або контрабасом/бас-гітарою з опущеним музичним строєм. Для людського голосу відтворити цю ноту нереально – "найнижчий" рекорд чоловічого басу, який поставив XVIII сторіччя співак Каспар Феспер – 44 коливання за секунду. Звична найнижча нота хорошого басу – 80 коливань за секунду. Щодо інших рекордів – французька співачка Мадо Робен (померла 1960 року) своїм колоратурним сопрано досягла ноти "ре" четвертої октави – 2300 коливань за секунду.

Десь посередині цих меж лежить частотний діапазон, найсприятливіший для людського вуха, голосу і більшості музичних інструментів. У середині діапазону – частота 440 Гц ("ля" першої октави) – загальний еталон висоти тону. Ця сере-



Відповідні частоти і ноти, за якими можна побудувати гами до-мажор і ре-мажор



дина є "найнаселенішою" нотами, музичними інструментами, голосами.

Декілька слів про музичні інструменти. Достатньо багато вже було написано про інструменти акустичні й механічні, а ще більше – про сучасніші електричні. Спочатку зупинімось на простіших – акустичних.

Звучання музичного інструмента, зазвичай, характеризують частотою випромінюваного звуку, що визначає висоту тону, інтенсивністю звучання, що визначає гучність, і його спектральним складом, що визначає тембр звучання. Суб'єктивне сприйняття музичного звучання залежить також значною мірою від характеру наростання і спадання звукових коливань або динаміки.

Насправді достатньо складно збудувати пристрій, що випромінює звук однієї-єдиної частоти. Більшість музичних інструментів, не згадуючи вже про людський голос, створюють хвилі складної форми, що містять низку частот. Якщо говорити про музичний звук, тоді одна частота мусить домінувати над іншими (основний тон). Окрім неї, є ще й частоти, кратні основній (обертони). До них повернемося згодом.

Розроблено спеціальні джерела звуку, що випромінюють частоту, так званий чистий тон. Це камертони різних конструкцій і розмірів, здебільшого виготовлені у вигляді вигнутих металевих стрижнів на ніжках. Роль камертона може виконувати також кристал кварцу, який коливається з певною частотою під дією зовнішнього електричного поля. Висота тону камертона визначається матеріалом, з якого він виготовлений, а також його фізичними розмірами. Що більший розмір, то нижчий звук, який він відтворює під час удару по ньому. Гучність звуку залежить від сили удару і пов'язана з енергією коливань у джерелі та хвилі. Зв'язок між гучністю та амплітудою коливань

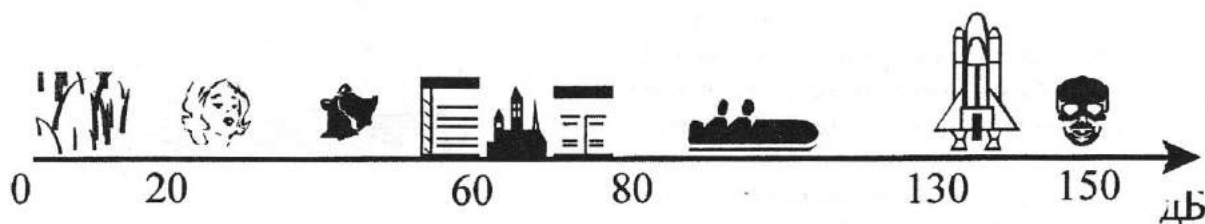
достатньо непростий. Гучність або силу звуку ми вимірюємо у відносних одиницях – децибелах (дБ). За точку відліку беруть найслабший звук (порог чутливості, який може почути людське вухо, 10^{-12} Вт/м²). Суб'єктивно людина оцінює звук як удвічі сильніше, якщо його інтенсивність зростає майже у 10 разів, тобто чутливість вуха логарифмічно залежить від сили звуку. Тоді можемо побудувати відповідну шкалу, в якій,

$$L = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0},$$

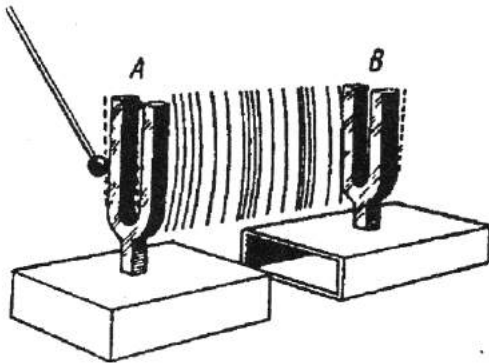
де I – інтенсивність звуку; I_0 – поріг чутливості вуха. За цієї шкалою, наприклад, шум листя створює силу звуку приблизно 5 дБ, шепіт людини – 20 дБ, вуличний шум – 60 дБ, відбійний молоток – 80 дБ, симфонічний оркестр – 100 дБ, спортивний автомобіль, концерт сучасної музики чи дискотека – 120 дБ, реактивний двигун – 130 дБ. Сила звуку понад 100 дБ шкідлива для вуха, 130 дБ відчувається шкірою і викликає різкий біль, а понад 150 дБ (наприклад, вибух) є смертельною дозою.

Колівання, що переносяться звуковою хвилею, можуть стати вимушеною періодичною силою в коливальних системах і викликати в цих системах явище резонансу, іншими словами, змушуючи їх звучати (інша назва – акустичний резонанс). Явище резонансу можна продемонструвати на прикладі двох камертонів однакової частоти.

Камертон закріплюють на невеличкій дерев'яній скриньці, розміри якої підібрані так, аби її власна резонансна частота збігалася з частотою камертона. Це суттєво підсилює звук, тому скриньку називають резонатором. Резонанс використовують в усіх музичних інструментах, він змушує струни коливатись і підсилювати звук у духових інструментах. Роль резонатора виконує дека (в струнних інструментах) або труба (в духо-



Звук шелесту трави ледь відчутний людським вухом, зате на спортивних змаганнях з автогонок чи запуску ракети викликає біль і може завдати небезпечної шкоди здоров'ю людини



Коли один камертон *A* починає коливатись, він посилає в повітря звукову хвилю або ділянки згушення чи розрідження, що чергуються. Досягнувши камертона *B*, звук змушує його коливатись. Оскільки *B* має таку ж саму власну частоту, що й *A*, кожна нова ділянка згушення сприяє збільшенню амплітуди коливань *B*. Так *B* невдовзі починає втворювати чутний звук. Його коливання є "відповіддю" або резонансними.

вих). У людини для підсилення голосу (коливання голосових зв'язок) роль резонатора виконує горло і ротова порожнина.

У музичних інструментах, та й в акустиці загалом, небажані такі явища, як биття – накладання коливань з близькими частотами. Кількість паразитних коливань за одиницю часу, створені биттям, дорівнює різниці між цими частотами. Коли частота биття стає достатньо висока (16–20 Гц), людське вухо сприймає їх як новий тон, і поряд з двома іншими коливаннями він звучить неприємно. Це явище називають дисонансом.

Якщо говорити про складніші акустичні пристрої, ніж камертони, музичні інструменти розділяють на дві групи: струнні та духові. Окремо виділяють групу ударних інструментів, у яких використовують вільні коливання мембран, стрижнів і пластин різноманітної форми (барабан, литаври, ксилофон, тарілки). Музичні інструменти теж поділяють – за діапазоном звучання і можливістю зміни висоти тону в процесі виконання – на одноголосні й багатоголосні музичні інструменти з фіксованими тонами і з вільною інтонацією (смичкова група).

Матеріал музичного інструмента суттєво впливає на його звук. В Африці, Південній Америці, Азії декілька сторіч тому корпусом для струнних інструментів був звичайний гарбуз, в арабському

двострунному ребабі – панцир черепахи. Рибалки освоювали раковини, гончарі – глиняні горшки. Врешті-решт найкращим матеріалом виявилось дерево. Воно давало найдзвінкіші, найлегші й найчутливіші корпуси для струнних інструментів. Найпершим праобразом сучасних струнних інструментів стала лютя (5 тис років до Р. Х., Вавилон, Ассирія).

Залежно від способу збудження коливань струнні інструменти поділяють на щипкові, смичкові та клавішні (гру медіатором ототожнюють з щипковим типом). Струна в щипкових інструментах здійснює вільні затухаючі коливання, періодично повторюючи надану їй спочатку форму вигину. Коливання струни в фортепіано збуджуються ударом обтягнутих повстю молоточків. У смичкових інструментах використовують автоколивання струни, що виникають внаслідок зв'язку між коливаннями струни і зміною зовнішньої сили, що їх збуджує (тертя). Автоколивання теж виникають у духових музичних інструментах, які, залежно від способу збудження коливань стовпа повітря, поділяються на язичкові й мундштукові. В язичкових музичних інструментах коливання збуджуються продуванням повітря крізь розміщений в основі труби і закритий легким клапаном (язичком) отвір. У мундштукових духових



Окрім основної частоти (тону), будь-яка мембрана чи струна втворює й обертони – коливання з кратними частотами



інструментах роль мундштука виконують губи музиканта, що коливаються подібно до голосових зв'язок, а в без'язичкових трубах органу – потік повітря, спрямований на гострий край стінки труби і чутливий до бокового напору. В гармошках, акордеонах, баянах і фісгармонії язички самі собою є коливальною системою, що визначає висоту тону.

У музичних інструментах важливою характеристикою є тембр. Самі собою коливання струни чи автоколивання в трубі достатньо складні й містять, окрім основного тону, ще й багато інших частот, кратних основній. Зазвичай вони в 2, 3, 4, 6, 8 разів вищі від основної. Залежно від різних чинників (матеріалу струн і деки, конструкції резонаторів, спосіб видобуття звуку тощо) ці коливання можуть мати різну амплітуду, що й визначає тембр. Ми ніколи не сплутаємо "ля" скрипки і фортепіано, хоча деякі інструменти і схожі звуком.

Тривалий час вважали: що меншу кількість і відповідну амплітуду обертонів витворює інструмент, то він кращий. Це можна показати на прикладі еволюції клавішних інструментів (клавір, клавикорд, клавесин, рояль). Спосіб збудження струн клавесина і рояля відрізняється. У першому випадку це робиться щипковим типом, який створює дзвінкший звук і більшу кількість обертонів, а в іншому – за допомогою молоточків. Для порівняння можна виміряти спектри звучання клавішних інструментів різних епох. У першого клавикорда амплітуда обертонів була висока, а їхня кількість – велика, що дуже спотворювало звук. Ви не сплутаєте ноти різних октав сучасного рояля, оскільки кількість обертонів для нього невелика.

Проте хоча фортепіано, яке винайшов флорентієць Бартоломео Крістофрі (1709), суттєво обмежене в спектрі обертонів порівняно з клавикордом, це аж ніяк не є критерієм у побудові музичних інструментів.

У ХХ сторіччі з'явилися нові тенденції виготовлення музичних інструментів. Досягнення фізики, зокрема, електромагнетизму, привело до створення нового класу музичних інструментів – електроінструментів (мікрофон, далі – грамофон, 1937 року – перша електрогітара Лео Фендера, а після війни – клавішний синтезатор).

Загалом еволюція музичного синтезатора доволі цікава. Ще на початку ХХ сторіччя італійські футуристи використовували в своїх діях простий електричний генератор звуку. Винахідник Термен 1920-х років, який проживав у СРСР, створив електромозичний інструмент "терменворк", що був металічною кулею, здатною генерувати коливання залежно від того, на якій відстані від нього долоня виконавця. До Другої світової війни спроби використовувати в своїй музиці тон-генератори робив видатний композитор Мессіан. Після війни в США багато американських композиторів-авангардистів, передусім Джон Кейдж, стали застосовувати недосконалу тоді електронну техніку. В Європі в післявоєнний час цікавились електронікою такі видатні композитори, як Карл-Гайнц Штокгаузен чи Лючіано Беріо.

У середині 1970-х років з'явилися перші секвенсори, пристрої, що запам'ятовують музичну інформацію. Думка про використання ідей кібернетики в музиці виникла ще в 1960-х роках, коли нечисленні композитори одержали доступ до ЕОМ, які тоді займали цілі кімнати. Тоді ж виникло таке поняття, як "комп'ютерна музика", де композитор фактично є програмістом (численні спроби побудувати машини, що самі складають музику, простежуються ще від часів Леонардо да Вінчі), який створює програми, згідно з якими



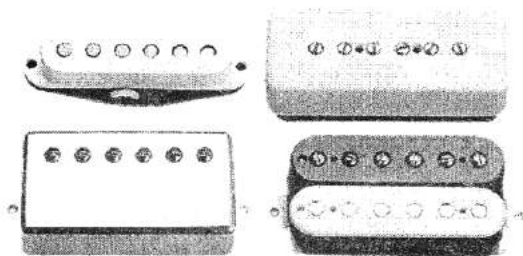
Клавішний синтезатор дає величезні можливості для компонування музики й експериментів зі звуками

комп'ютер сам "створює", використовуючи, наприклад, закон випадкових чисел, а також виконує свій витвір за допомогою тон-генераторів. У 1980-х роках з'явився персональний комп'ютер, що спростило процес компонування музики, створення нових тембрів, збереження музичної інформації. Водночас з'явилися і синтезатори – фактично комп'ютери, призначені для використання суто в музичних цілях. Для творення музики в цих



пристроях сьогодні використовують мільйони нефелічких музичних фрагментів, збережених в пам'яті синтезаторів – так званий формат MIDI. Причому ці фрагменти можуть бути як звуками штучними, що генеруються мікропроцесором, так і записаними від справжніх джерел – скрип дверей, шум води чи кожна окрема клавіша фортепіано.

Електричні музичні інструменти зумовили створення нових стандартів щодо звучання. Звук акустичної гітари ніхто б не додумався видозмінювати, а, перевищивши пороговий рівень електричного сигналу, який відображає коливання струни, одержимо спотворений звук, на основі якого виросло ціле дерево нового мистецтва (зокрема метал-музики). Володіючи можливостями електрично обробляти акустику, можна творити щось радикально нове. Хто знає, жив би Джиммі



Магнетні звукознімачі відкрили ворота новим напрямкам музики, зокрема з використанням струнних інструментів

Гендрікс у XVIII сторіччі, може б він теж став майстром клавесину, як Моцарт, а не легендарним гітаристом.

Типовий приклад "перехідного містка" між акустикою та електрикою – звукознімачі, що використовують у струнних електричних музичних інструментах. Їх поділяють на два типи: п'єзоелектричні та магнетні.

П'єзоелектричний – це п'єзокристал разом з обкладками з провідника. Принцип роботи ґрунтується на п'єзоелектричному ефекті – перетворення механічної енергії в електричну. Його властивості повністю наперед визначені фізичними властивостями кристала. Він володіє однією рівною характеристикою – ємністю. Причому вона достатньо мала, тому разом із кристалом використовують ще й так звану активну електроніку – еквалайзер з окремим живленням.

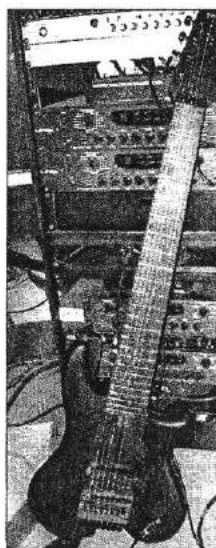
Видатний американський співак і композитор Френк Заппа мав численні проблеми із записом звичайного симфонічного оркестру



Принцип роботи магнетних звукознімачів використовує явище електромагнетної індукції, тому лише струни з феромагнетного матеріалу (наприклад, сталевий сердечник і обмотка з нікелю, сталі тощо). Його характеристики можна поділити на магнетні й електричні. Магнетні параметри відповідають параметрам магнетного матеріалу, з якого виготовлений сердечник. Електричні параметри стосуються котушки, яка намотана на магнет.

Для насичення, чистоти звуку уже не настільки важливу роль відіграє матеріал музичного інструмента, резонатор, дека, оскільки з'явилися нові можливості видозмінювати музику, перекладену на мову електричних сигналів. Фактично найхитромудріший музичний витвір можна представити у вигляді неперервної змінної у часі складної форми кривої на екрані осцилографа. Так само, як "Мону Лізу" можна представити у вигляді комбінації точок різного кольору.

Проте деколи навіть старі акустичні інструменти суперечать із сучасними електронними. Значно легше провести звукозапис середнячкової рок-групи з музикантів, які ледь навчились грати і клаповухим вокалістом, ніж симфонічного оркестру з професійних музикантів, щоб досягнути результату, який би відповідав сучасним стандартам звукозапису. Дуже наочно це описує Френк Заппа в книжці "The Real book of Frank Zappa". Наскільки легко було записувати платівки на початку 1970-х років і наскільки складно це стало згодом, видно хоча б з двох невдалих спроб провести його запис з оркестром – спочатку з Віденським симфонічним 1976 року, а згодом – із голландським "Резиденті-оркестром" (м. Гаага) 1980 року. Витрати величезні, але озвучити сотню інстру-



На таких інструментах грають сучасні виконавці так званої "математичної" музики

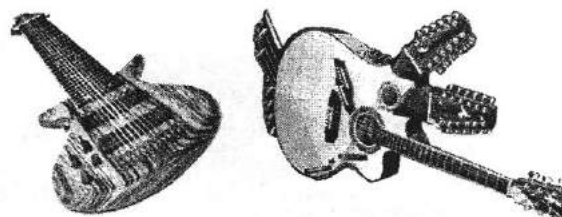
ментів у непридатному з погляду акустики приміщенні виявилось нездійсненним завданням.

Натомість майже необмежені можливості сучасної техніки щодо оброблення звуку дають змогу легко маніпулювати найдивакуватішими звуками, і згадані небажані фізичні явища (биття, дисонанс) обертають проти них і використовують у музиці. Щоб у цьому переконатись, варто послухати, наприклад, твори таких авангардистів, як Джон Зорн чи Майк Паттон, або ж, якщо мати терпіння й нерви, – всі записи Роберта Фріппа та його групи King Crimson. З іншого боку, в музику активно влітається математика. Наприклад, витвори шведських музикантів Meshuggah активно насичені поліритмією, ритмічними розмірами 13/8 чи 15/16, що до того ж змінюються ледь не кожного музичного такту.

Бурхливий розвиток у ХХ столітті джазу, що вніс чимало розгاردіашу в основи музичної теорії, винайдення електрогітари, запис групою Deep



Музиканти-авангардисти Роберт Фріпп (King Crimson), Джон Зорн і Майк Паттон



Що можна виконати на таких інструментах?

Purple платівки з Лондонським симфонічним оркестром, розвиток техніки гри, що виходить поза межі фізичних можливостей людини (барабанный ритм із красномовною назвою blastbeat – "вибуховий" біт), або ж виникнення абсолютно нових і абсурдних раніше напрямів музики, де широко застосовують дисонанс, шумові ефекти, рівномірно темперована гама по чвертьтонах, ритмова математика і хаотичність композиції, – все це змушує сильно переоцінювати критерії і сприйняття "музикальності" звуку, і технологій виготовлення музичних інструментів.

У тому ж таки "Контрабасі" П. Зюскінда герой із сумом заявляє, що видатні й великі (Бетговен чи Вагнер), складаючи симфонії, писали в партитури музичних інструментів, на яких не вміли грати, безліч партій, недоступних фізично зіграти для людини. Сьогодні можна писати симфонії, не володіючи навіть елементарною музичною грамотою, і слухати їх, не потребуючи сотні професійних музикантів.

І все ж таки, що б писав Моцарт сьогодні? Чи не згубився б він серед моря того, що тепер звучить? Можливо, але жоден комп'ютер не замінить геніальності. Хоча було б дуже цікаво, який твір написав би видатний композитор для тригрифової гітари чи 12-струнного баса.

Література:

1. Эллиот Л., Уилкок У. Физика/ Пер. с англ. проф. А. И. Китайгородского. – М.: Наука, 1975.
2. <http://www.1september.ru>
3. Физический энциклопедический словарь. – М., 1963. – Т. 3.
4. Мартин Гарднер. Путешествие во времени. – М.: Мир, 1990. – С. 102–116.
5. П. Зюскінд. Контрабас. (<http://lib.ru/ZUSKIND/kontrabas.txt>).
6. <http://www.guitarplayer.ru/blog/zappabook/>



Задачі

X відкритого Луганського юніорського турніру фізиків (юніорська ліга, 8-9 клас)

Фізика – чудова річ: вона цікава, навіть, якщо нічого в ній не розумієш.

Михайло Аров,
призер III, IV і V
Всеукраїнських ТЮФ

Десять років тому Олександр Леонідович Каміні і його син Олександр започаткували юніорський турнір юних фізиків у м. Луганську. У травні 2006 року відбудеться вже десятий турнір, як завжди до його проведення підготовлені цікаві та оригінальні задачі. Журнал "Світ фізики" пропонує читачам ознайомитися з правилами проведення та умовами завдань цього турніру.

Змагання проходять за правилами Всеукраїнського турніру юних фізиків з такими доповненнями. У складі команд має бути не більше шести школярів 7–9-х класів (допускається участь одного десятикласника). Учасник команди – десятикласник, має право виступати як доповідач, опонент або рецензент лише раз упродовж бою (участь у полеміці виходом не вважають).

У фіналі турніру фіналістам пропонують нові задачі, які розв'язують упродовж 4–5 годин перед фіналом без участі керівників команд.

1. "Придумай сам". Приборкання непокірної. Придумайте спосіб охолодити негостинну поверхню Венери до земних температур. Опишіть цей проєкт з фізичного погляду та оцініть основні параметри запропонованого способу.

! Оргкомітет юнацької ліги ТЮФ забороняє учасникам турніру проводити експерименти на Венері без скафандрів.

2. "Дороговказний спис"

На площі афінського Акрополя колись стояла величезна статуя Афінки, яка мала спис, зроблений із золота. Вечорами, коли заходило сонце, статуя була маяком. Оцініть граничну віддаль, з якої можна було б помітити цей маяк.

3. "Дівчинка на кулі"

Ви, напевно, бачили картину Пікасо "Дівчинка на кулі". Як має рухатися дівчинка, щоб куля котилася, а дівчинка далі залишалася на кулі? Яку максимальну швидкість може набрати куля?

4. "Відбитий лабіринт"

Ви стоїте між двома паралельними дзеркалами (наприклад, у кабіні ліфта з двома дзеркальними стінками). Яку максимально можливу кількість зображень Ви можете побачити? Від чого це залежить?

5. "Пташки шкода..."

Оцініть силу удару під час зіткнення літака із птахом. Від яких параметрів вона залежить?

6. "Дощик у вашому домі"

Вам, напевно, доводилось спостерігати дію пульверизатора (наприклад, бризки від праски). Дослідіть експериментально і теоретично механізм його дії. Опишіть можливі режими його роботи. Знайдіть критичні умови, за яких це можливо.



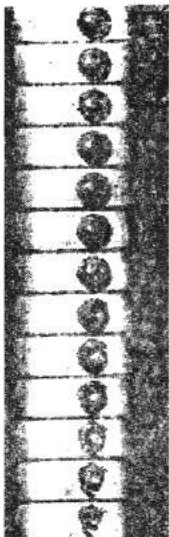
7. "Мокре місце"

Кидаючи з балкона помідори, дивись на кола, які вони утворюють, оскільки таке кидання буде пустою забавою

Козьма Прутков XXI сторіччя

Із n -го поверху на асфальт упав помідор. Опишіть кількісно параметри мокрого місця залежно від параметрів кидка. Поясніть, чому мокре місце є саме таким.

8. "Ось куля пролетіла – і ага..."



На кінограмі зображено, як куля пробиває повітряну кульку. Видно, що кулька тріскає вже після того, як куля вийшла з неї. Поясніть ефект і опишіть його кількісно.

Задачі підготували і запропонували:

А. А. Камін, А. Л. Камін, К. Ключевський, А. Крючков, Р. Трофіменко, мордовський народ

9. "Чарівний голос Джельсоміно"

Чи може людина своїм голосом розбити скло? За яких умов? Опишіть ефект теоретично.

! Оргкомітет юнацької ліги ТЮФ за збитки під час експериментів не відповідає.

10. "Качачі жарти"

Подивіться на хвилі, що утворює качка, яка пливе по воді. Поясніть форму цих хвиль. Від яких параметрів залежить їхня форма?

11. "Я кохану пізнаю за ходою"

Жінки стають на високі підбори, щоб під час ходи, як вони самі висловлюються, "фігура заграла?" Опишіть з погляду фізики рух будь-якої точки (на ваш вибір) фігури, яка "грає". Як пов'язані характеристики цього руху з висотою підборів?

12. "Ні пуха, ні пера"

"Піднімеш – легко, а кинеш – не далеко"

Мордовська загадка

На яку максимальну віддаль можна кинути пташине пір'я? Опишіть ефект теоретично і дослідіть експериментально.

Чи знаєте Ви, що...

Артур Кларк (Arthur C. Clarke) британський письменник-фантаст, у журналі "Wireless World" передбачив можливість запуску штучних супутників Землі на геостаціонарну орбіту. Штучний супутник Землі, на певній відстані від неї, здійснюватиме оберт навколо Землі за 24 години. Тобто, він постійно "висітиме" над однією точкою Земної кулі. Його можна буде бачити в межах прямої видимості майже з половини поверхні Землі. Три ретрансляційні супутники, розташовані на такій орбіті через 120 градусів, дадуть змогу охопити всю планету телебаченням і радіозв'язком".

Знадобилось майже 15 років, щоб передбачення А. Кларка здійснилось. Нині без геостаціонарних супутників неможливі сучасні системи телерадіокомунікацій. На честь письменника геостаціонарну орбіту деколи називають "орбітою Кларка".



Інтелектуальні змагання студентів-фізиків

І. О. Анісімов,

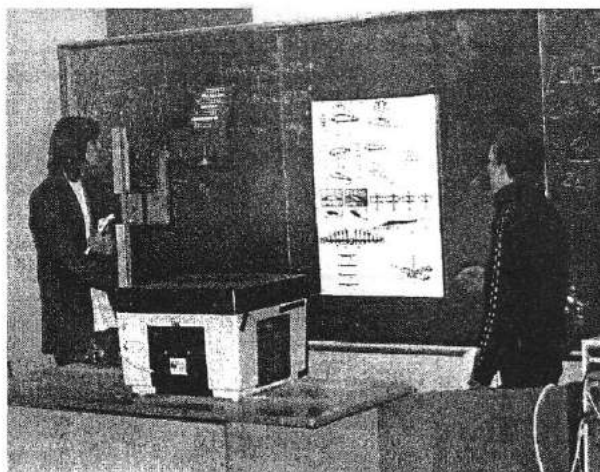
завідувач кафедри фізичної електроніки Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор

О. І. Кельник,

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізичної електроніки Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Із 18 до 22 листопада 2006 року на базі радіофізичного та фізичного факультетів Київського національного університету імені Тараса Шевченка відбувся IV Всеукраїнський студентський турнір фізиків (СТФ).

Відповідно до умов турніру за кілька місяців до початку змагань командам-учасникам запропоновано набір задач відкритого типу. Ці задачі не передбачають одержання однозначної відповіді, як звичайні навчальні задачі, а вимагають умінь провести самостійне наукове дослідження: постановку експерименту, вибір моделі для пояснення одержаних результатів, аналітичні та комп'ютерні розрахунки.



Чвертьфінал. Дискусія між командами Одеського національного університету імені І. І. Мечнікова, радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Вінницького педагогічного університету

Змагання серед команд проходять у вигляді дискусій, де представники кожної з команд-учасниць по чергово виступають у ролях доповідача, опонента та рецензента. Доповідач розповідає про свою версію розв'язання задачі. Оponent дає розгорнуту оцінку запропонованого розв'язку, звертаючи увагу на адекватність моделі, коректність проведених розрахунків, наявність експерименту та інтерпретацію його результатів. Рецензент оцінює роботу доповідача та опонента і, якщо потрібно, висловлює додаткові зауваження щодо змісту доповіді. Наприкінці відбувається загальна полеміка за участю членів команд.

Історія СТФ почалася 2000 року, коли на радіофізичному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка з ініціативи студентів було вперше проведено такий турнір. Відтоді в Київському університеті проведено вже дев'ять СТФ, які незмінно викликали велику зацікавленість у студентів. В останньому такому турнірі брали участь не лише команди студентів Київського національного університету, а й гості – представники Національного технічного університету України "КПІ" та Черкаського університету. Досвід проведення СТФ з часом набув поширення. Восени 2001 року на базі Одеського національного університету було проведено пробний турнір за участю представників Київського, Одеського та Харківського університетів. Уже відбулося три Всеукраїнських СТФ, у яких брали участь 10–13 команд вищих навчальних закладів України.

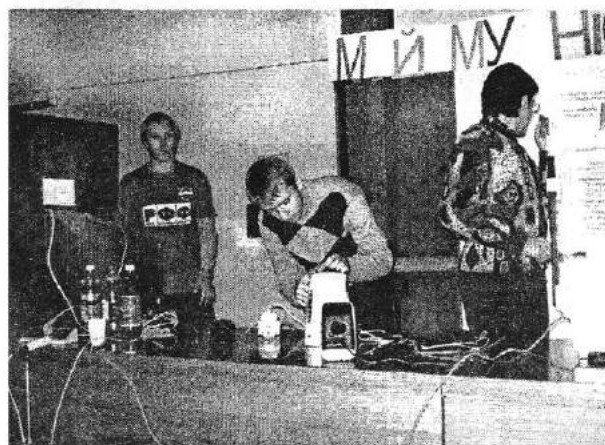
Кількість учасників IV Всеукраїнського СТФ різко зросла порівняно з попередніми турнірами.



У ньому брали участь 24 команди (3 – як спостерігачі), які представляли 19 вищих навчальних закладів – класичних, технічних та педагогічних університетів. Зокрема Донбаський державний технічний університет (м. Алчевськ), Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Донецький національний університет, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника (м. Івано-Франківськ), Київський національний університет будівництва і архітектури, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (радіофізичний факультет – 2 команди, фізичний факультет – 2 команди), Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут" (фізико-технічний інститут – 1 команда, фізико-математичний факультет – 1 команда), Львівський національний університет імені Івана Франка, Луганський національний педагогічний університет імені Тараса Шевченка, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Луганськ), Приазовський державний технічний університет (м. Маріуполь), Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, Південноукраїнський державний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського (м. Одеса), Рівненський державний гуманітарний університет, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (фізико-технічний факультет – 2 команди), Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. Уперше в турнірі брала участь іноземна команда – гості з Московського фізико-технічного інституту (м. Долгопрудний, Російська Федерація).

У межах турніру спочатку було проведено три кола ігор, де всі учасники зустрічалися між собою. Попри велику кількість команд-дебютантів, якість більшості доповідей, порівняно з попереднім турніром, зросла. Дванадцять команд, що показали найкращі результати, вишли в півфінал. Із кожної трійки півфіналістів одна команда потрапила до фіналу, у якому цього разу брали участь 4 команди – Московського фізико-технічного інституту, Київського національного університету (радіофізичний факультет), Львівського національного університету імені Івана Франка (Орест Григорчак, Богдан Петранівський, Світлана Романишин,

Леонід Саламаха, Микола Самар, Матвій Шкотняр, науковий керівник – Андрій Іванович Пелехович) та Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (Антон Клижка, Антон Ковтун, Дмитро Крупа, Ілля Мисюра, Дарія Нечай, Андрій Торговкін). Останні дві команди стали переможцями турніру, набравши у фіналі абсолютно однакову кількість балів. Слід зазначити, що фінал Всеукраїнського СТФ, де кожна команда презентує свою найкраще підготовлену задачу, завжди є яскравим видовищем і збирає велику кількість глядачів.



Півфінал. Доповідь команди радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Дипломи II ступеня отримали команда "Фізтех" Московського фізико-технічного інституту (Вікторія Бабічева, Давид Бойнагров, Ігор Мішутін, Антон Науменко, Віталій Федосєєв), команда "РФ-1" радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Михайло Висоцький, Сергій Денега, Андрій Лазарєв, Борис Мельник, Павло Молочко, Дмитро Пархоменко), команда "Е" радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Роман Верба, Катерина Карпенко, Володимир П'ятниця, Дмитро Савченко).

Дипломи III ступеня отримали команда "Спектр" Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (Сергій Коновал, Володимир Наконечний, Віталій Сапсай, Оксана Творун, Сергій Тихоненко, Сергій Шевченко, науковий керівник – Анатолій Фе-



дорович Недибалюк), команда "АІІ-Фізики" Донецького національного університету (Микола Белицький, Сергій Веремєєв, Геннадій Єржаков, В'ячеслав Коваленко, Роман Шкарлат, Андрій Юров, науковий керівник – Олександр Васильович Шмельов), команда "Біда" фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Андрій Вербицький, Микола Дедушенко, Олександр Ляшенко, Ігор Решетняк,



Фінал ІV Всеукраїнського студентського турніру фізиків. Конкурс капітанів

Марія Тен, Володимир Яцишин), команда "КОІ" фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Тетяна Вовкогон, Сергій Кутній, Левківський Іван, Артем Пісковець, Євген Супруненко, Андрій Яковенко), команда "РІ-13" Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (Олексій Куницький, Олег Матвейчук, Валентин Муніца, Юрій Скворцов, Григорій Фучеджи, науковий керівник – Володимир Леонідович Кулінський), команда "ФІ" Національного технічного університету України "Київський Політехнічний Інститут" (Антон Алкін, Павло Бондаренко, Дмитро Дзюба, Андрій Козак, Юрій Напалько, Юрій Тихий, науковий керівник – Дмитро Віталійович Філін), команда "Харків-1" Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (Олексій Голубов, Володимир Грінченко, Олександр Громенко, Михайло Дальченко, Дмитро Мещеряков, Сергій Сліпущенко)

Гравців, що принесли своїм командам найбільшу кількість балів, було відзначено спеціаль-

ними дипломами. Цього разу найкращими були Олег Матвейчук (Одеський національний університет імені І. І. Мечникова) та Орест Григорчак (Львівський національний університет імені Івана Франка).

Дипломи ІІ ступеня в особистій першості отримали Олексій Голубов, Олександр Громенко (фізико-технічний факультет Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна), Андрій Козак (фізико-технічний інститут Національного технічного університету України "Київський Політехнічний Інститут"), Сергій Кутній, Олександр Ляшенко (фізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка).

Дипломи ІІІ ступеня в особистій першості отримали Давид Бойнагров, Ігор Мішутін (Московський фізико-технічний інститут (м. Долгопрудний, Російська Федерація), Роман Верба, Борис Мельник (радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка), Дмитро Савченко (радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Володимир Левшенюк (Рівненський державний гуманітарний університет), Ілля Мисюра (фізико-технічний факультет Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна).

Оцінюючи останній СТФ, його організатори та члени журі були єдині в тому, що турніри вчать студентів чітко й послідовно викладати свої думки, оперативно аналізувати щойно почуті виступи, працювати в команді. Ці навички потрібні майбутнім фізикам-професіоналам. А самі учасники (до речі, усім їм турнір надзвичайно сподобався) говорять, що СТФ по-новому збуджує інтерес до майбутньої професії, дає змогу оцінити свій рівень порівняно з іншими командами, і є могутнім стимулом до подальшого навчання та участі в науковій роботі.

Приємно зазначити, що спілкування між учасниками команд мало незмінно товариський характер – часто можна було бачити, як, здавалося, непримиренні суперники по-дружньому розмовляють після гри, обговорюючи розв'язки задач. Таке спілкування, нові знайомства з ровесниками також є привабливою рисою студентського турніру юних фізиків.

Чи має фізика майбутнє?

Галина Шопа

Економічна криза в Україні наприкінці минулого сторіччя, яка спонукала закриття багатьох науково-дослідних програм, згорання виробництва радіоприладів, лазерів, телевізорів тощо, привела до зменшення інвестицій у розвиток нових технологій, створення нових матеріалів. Результатом цього є зниження зацікавлення серед молоді до вивчення фундаментальних наук, зокрема фізики.

Водночас до цього долучились й інші чинники, зокрема невинувато завищена суспільна оцінка таких фахів як економіст, юрист, гуманітарій; відміна вступних іспитів з фізики на технічні спеціальності в університетах; зменшення годин, відведених на вивчення фізики в школі тощо. Перелічені чинники знизили авторитет цієї науки в суспільстві.

Якщо порівняти розвиток фізики в Україні та світі, то подібна тенденція простежується й в інших країнах. Спадає зацікавлення школярів до вивчення фізики в школах та університетах Великобританії. Наприклад, фахівці з Букінгемського університету провели дослідження у 432 школах Англії та Валії й з'ясували, що школярів, які поглиблено вивчають фізику стало на 38 % менше, ніж 1990 року. Поглиблене вивчення фізики може невдовзі зникнути в середніх школах, бо не вистачає кваліфікованих учителів.

Кількість учителів фізики, які за цей час прийшли до школи, знизилась на 12,8 %. У майже 10 % загальноосвітніх шкіл Великобританії предмета фізики вже немає, а в 39,5 % шкіл 2005 року бажання вивчати фізику виявили лише п'ять школярів. Половина учителів фізики не вивчали цього предмету в університеті. Особливо це характерно для молодих учителів, багато з яких мають диплом з біології. У приватних школах Великобританії ситуація з викладанням фізики дещо ліпша, викладачів фізики з дипломами фізика більше. Така ж проблема є й з вивченням інших природничих наук, зокрема й математику.

Один із парадоксів сучасності полягає в тому, що усі використовують сучасні технології, що втілені в комп'ютери, мобільні телефони, побутову техніку, нові матеріали, супутникове телебачення, а водночас занепадає фізика! Якщо ситуація не виправиться, ми не зможемо виховати нового покоління учених, технологів, інженерів, які продовжуватимуть прогрес людства!

Генеральна Асамблея ООН 2005 рік оголосила **Роком фізики**, визнаючи, що фізика – це важлива частина знань про природу, а її застосування – визначальний чинник сучасного технічного прогресу. Проведення Всесвітнього року фізики – це добра нагода для

міжнародного фізичного товариства донести до широкого загалу важливість фізики для розв'язання глобальних проблем, які стоять перед людством. Фізична міжнародна спільнота упродовж року організувала з'їзди, конференції, круглі столи тощо, на яких обговорювали стан фізики сьогодні, її потрібність для людства та окреслювали найважливіші напрями фізичних досліджень.

В Україні в жовтні 2005 року в м. Одесі було проведено Всеукраїнський з'їзд фізиків, 15 квітня у Львівському національному університеті імені Івана Франка відбувся круглий стіл "Проблеми викладання фізики в школі", 12 жовтня у національному університеті "Львівська політехніка" – нарада-семинар з наукових та методичних проблем викладання фізики "Фізика-2005", 17 листопада в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка – круглий стіл "Проблеми фізико-математичної освіти в Україні", 25 листопада в межах Міжнародної конференції "Знання суспільство: нові виклики науки та вченим" проведено круглий стіл "Дискусія про історичну і сучасну роль фізики і фізиків у розвитку наукових знань про природу і суспільство" та ін. У цих заходах брали участь науковці, викладачі вищих навчальних закладів, учителі. Вони аналізували проблеми вивчення фізики в школі та університеті, сучасний стан розвитку фізичної науки в Україні та майбутні перспективи. Було прийнято звернення до Президента України, Верховної Ради України, Кабінету Міністрів, Міністерства освіти і науки України. В кожному з них звучала тривога за стан фізико-математичної освіти в Україні.

Пропонуємо читачеві звернення, яке було прийняте 17 листопада 2005 року на круглому столі у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. У його роботі брали участь 142 особи – відомі вчені, серед яких академіки НАНУ та АПН, директори та вчителі спеціалізованих середніх шкіл фізико-математичного профілю, декани та викладачі природничих факультетів університетів, представники сфери виробництва та бізнесу з різних регіонів України. Зокрема, на засіданні виступили академік АПН, перший проректор Київського національного університету імені Тараса Шевченка О. В. Третяк, віце-президент НАНУ академік А. Г. Наумовець, декани фізичного факультету член-кореспондент НАНУ Л. А. Булавін та механіко-математичного факультету професор І. О. Парасюк, директор Київського природничо-наукового ліцею № 145 М. М. Левтик, академік НАНУ М. Г. Находкін, Президент Українського фізичного товариства член-корес-

понтент НАНУ В. Г. Литовченко, директор Українського фізико-математичного ліцею КНУ О. А. Лобода, академік-секретар відділення фізики та астрономії НАНУ В. М. Локтев, директор Інституту новітніх технологій Національного авіаційного університету професор В. В. Куліш та інші – всього 20 осіб.

”Вельмишановний Вікторе Андрійовичу!

Вельмишановний Володимире Миколайовичу!

Вельмишановний Юрію Івановичу!

Ми змушені звернутися до Вас за допомогою та підтримкою, оскільки проблеми, які нас зібрали, мають державну вагу і є визначальними для перспективного розвитку українського суспільства.

1. Фізико-математичні науки – основа сучасних технологій.

Прогресивний розвиток суспільства цілком завдячує появі сучасних технологій. Фундаментом створення більшості таких технологій (включаючи інформаційні) є фізико-математичні науки. Без належного рівня математики й фізики неможливий розвиток технічних наук. Навіть у технологіях, які ґрунтуються на інших природничих науках (хемія, біологія), без фізико-математичної бази не обійтися. З іншого боку, сучасні природничі науки самі поступово перетворюються на галузь промисловості, яка вимагає значних капіталовкладень, але за правильної постановки справи приносить величезну віддачу.

2. Державна увага до розвитку фізико-математичних наук у передових країнах.

Розуміння важливості розвитку природничих (зокрема, фізико-математичних) наук змушує керівництво передових країн (Західна Європа, США, Японія, ”азійські тигри” та інші) піклуватися про постійне технічне оновлення цієї сфери, вкладати в неї значні державні кошти та стимулювати інвестування з боку промисловості, підтримувати на належному рівні матеріально-технічну базу відповідних наукових закладів.

3. Освіта в галузі фізико-математичних наук – база розвитку природничих наук та сучасних технологій.

Запорукою результативності та ефективності будь-якої галузі, зокрема науки, є кадрове забезпечення. Тому передумовою успішного розвитку фізико-математичних наук і розроблення та впровадження заснованих на них технологій є нормальне функціонування системи підготовки кадрів – на рівні середньої та вищої школи.

4. Досягнення фізико-математичної освіти в Україні.

Система фізико-математичної освіти України досі вирізняється низкою значних здобутків. Продовжує функціонувати система спеціалізованих середніх навчальних закладів, яка забезпечує належний рівень підготовки учнів. Свідченням цього є високий рівень проведення Всеукраїнських олімпіад і турнірів юних фізиків та математиків, успішна робота відповідної секції Малої академії наук України. Стабільно високі ре-

зультати демонструють команди школярів України на міжнародних олімпіадах з фізики та математики.

Високий рівень фізико-математичної підготовки в багатьох університетах України підтверджується тим, що їхні випускники успішно працюють у сферах науки, виробництва та бізнесу. Їх охоче приймають до аспірантури та на роботу за фахом у країнах Західної Європи, в Японії, в США та в інших розвинених країнах.

5. Загрози для подальшого розвитку фізико-математичної освіти.

Слід, однак, зазначити, що розвиток фізико-математичної освіти в Україні і в середній, і у вищій школі сьогодні загалом іде на спад, і досі не зроблено нічого, щоб зупинити цей процес. Її досягнення переважно залишились у спадок від минулих часів, а ресурси для перспективного розвитку не закладаються. Між тим занепад фізико-математичної освіти становить реальну загрозу національній безпеці України.

6. Проблеми викладання фізико-математичних наук у середній школі

Основи знань у галузі фізики й математики та перший етап відбору обдарованої молоді забезпечує середня школа. Доводиться констатувати, що рівень масової шкільної підготовки в галузі фізики та математики за останні 15–20 років помітно знизився. Насамперед значно зменшився обсяг годин, відведених для вивчення фізики та математики. Погіршилась якість відповідних шкільних програм. Хоча з’явилися деякі нові підручники з математики та фізики, але їхній рівень недостатньо високий, оскільки навчальна література вимагає тривалого доопрацювання. Різко загострило ситуацію з вивченням фізики в школі скасування вступних іспитів із цієї дисципліни в більшості вищих навчальних закладів.

Фізика – це експериментальна наука, тому її повноцінне вивчення вже на рівні середньої школи вимагає відповідного обладнання. Упродовж останніх 15–20 років фізичне обладнання для шкіл майже не закуповують, а придбане раніше стрімко виходить з ладу. Випуск такого обладнання в Україні різко знизився, а ціна на нього, навпаки, зросла. Як результат, відчутно погіршилась підготовка випускників шкіл у галузі фізичного експерименту. Навіть найкращі з них, наприклад, не вміють користуватися скільки-небудь сучасними електровимірювальними приладами, а то й узагалі їх не бачили. Підготовка кращих учнів у галузі фізики та математики в Україні здійснюється в обмеженій кількості спеціалізованих шкіл із давніми традиціями такої роботи (природничо-науковий ліцей № 145 (Київ), Український фізико-математичний ліцей КНУ, фізико-математичний ліцей при Львівському національному університеті імені Івана Франка, ліцей № 27 (Харків), гімназія № 17 (Вінниця), Рішельєвський ліцей (Одеса), фізико-математична школа ім. А. Ф. Йоффе м. Ромни Сумської обл. та інші). Переважна біль-

шість учителів, які займаються цією роботою, вже досягли передпенсійного віку. Молодших за віком людей, що мали б прийти їм на зміну, майже немає. Причина – насамперед у надзвичайно низькій фінансовій та суспільній привабливості роботи вчителя. Водночас ця робота вимагає неабиякого таланту та самовідданості, величезної витрати сил.

Ми просимо Вас звернути увагу й на проблему соціальної доступності високоякісної середньої освіти, зокрема освіти в галузі фізики й математики. Зараз навчання в більшості спеціалізованих шкіл фізико-математичного профілю платне, а самі вони доступні майже виключно жителям обласних центрів. Система відбору талановитих дітей з невеликих міст та сільської місцевості для навчання у спеціалізованих фізико-математичних школах, яка існувала в минулі роки, сьогодні зруйнована.

7. Проблеми викладання фізико-математичних наук у вищій школі.

Не менш гостре становище з викладанням фізико-математичних наук склалось у вищій школі. Насамперед слід вказати на катастрофічне відставання матеріально-технічного забезпечення вищої школи від світового рівня. Фактично закупівлю приладів (крім комп'ютерів) припинили в 1985–1990 роках. Отже, обладнання лабораторних практикумів та експериментальних установок, на яких виконують студенти випускні роботи, вже відстають від світового рівня на 15–20 років. Жодні перспективи розв'язання цієї проблеми нині відсутні. Нові прилади, які нині купують, навіть не компенсують фізичного старіння тих, якими наразі користуються студенти. Реально навіть провідні українські університети оснащені апаратурою гірше, ніж середні навчальні заклади передових країн. У результаті випускники українських університетів зовсім не вміють працювати з сучасною апаратурою. У рамках процесів світової глобалізації система вищої освіти, як і наука, все більше інтернаціоналізується. На цьому тлі все гостріше заявляє про себе проблема доступу до іноземної навчальної та наукової літератури. Відсутність такого доступу прирікає рівень викладання природничих наук у вищій школі на регресуюче відставання від світових досягнень. Отже, важко розраховувати на повноцінну участь українських університетів у Болонському процесі.

Випуск української навчально-методичної літератури також організовано на неналежному рівні. Ним фактично самотужки опікуються самі вищі навчальні заклади. Написання навчальної літератури матеріально не заохочується, підручники та посібники виходять мізерними накладками, без належного наукового та літературного редагування. Майже відсутній обмін такою літературою між різними університетами. Окреслені обставини шкідливо впливають на рівень і якість створюваних за таких умов підручників та посібників.

Загальновідомо, що повноцінна університетська освіта, зокрема й фізико-математична, може існувати лише в нерозривному зв'язку з відповідними науковими дослідженнями. На жаль, університетська наука переживає нині всі ті самі проблеми, що й академічна та галузева: відсутність повноцінного фінансування та належного матеріально-технічного забезпечення, брак сприятливої нормативно-правової бази, падіння соціального статусу, відтік молоді. Розв'язувати ці проблеми в багатьох випадках значно важче, оскільки університетські науковці додатково до своїх прямих обов'язків, зазвичай, виконують ще й значний обсяг навчальної роботи.

Сьогодні вища школа переживає гострий кадровий голод. В університетах (як і в більшості наукових закладів) майже відсутні представники середньої вікової категорії. Ці люди в недалекому минулому змушені були покинути стіни університетів чи навіть виїхати на заробітки за кордон, щоб прогодувати свої сім'ї. Більшість із них досі не повернулася. Немає й гідного поповнення молоді. Це пов'язано насамперед із тим, що матеріальне забезпечення молодої людини, яка починає свою кар'єру в університеті, абсолютно не конкурентоспроможне порівняно з небаюджетною сферою. До того ж, зарплатня молодого фахівця просто не може задовольнити мінімальних життєвих потреб людини, що стоїть на початку свого самостійного шляху. Особливо це стосується проблеми житла, що унеможливує працевлаштування талановитих вихідців із провінції в провідних університетах України. Але ж сфера вищої школи і науки має бути відкритою системою, і надходження кадрів до неї не можна обмежувати за місцем народження.

8. Потреба зміни державної політики в галузі науки та освіти.

Все викладене вище, на нашу думку, вимагає радикальної зміни державної політики в галузі науки та освіти. Треба усвідомити, що національну еліту, зокрема й наукову, неможливо купити за кордоном, її треба системно готувати, як це роблять у передових країнах. Насамперед потрібно змінити ставлення суспільства до працівників освіти та науки. Вони мають відчувати повагу до своєї праці – в матеріальному та моральному вимірах. Слід зрозуміти, що розв'язання назрілих екологічних, гуманітарних та соціально-економічних проблем у суспільстві можливе лише на базі досягнень природничих наук, а не на нехтуванні цими досягненнями. Треба, зокрема, відродити широку популяризацію науки в електронних та друкованих засобах масової інформації, яка сьогодні відбувається деінде та час від часу. Особливу увагу слід приділити виданню науково-популярної літератури з фізики та математики для молоді, для чого потрібно створити державне видавництво відповідного профілю та забезпечити цією літературою бібліотечну мережу..."

Декілька слів про чутливість терезів

Валерій Колебошин,

кандидат фізико-математичних наук, доцент Одеського національного університету імені І. І. Мечнікова

Терези – найдавніший вимірювальний прилад. Історія науки стверджує, що вони були відомі ще за три тисячі років до нашої ери. Арістотель розвинув теорію нерівноплечих терезів із рухомою гиркою, Архімед добився більшої точності, удосконалив теорію нерівноплечих терезів і розвинув теорію рівноплечих терезів [1].

Розгляньмо коротко:

- а) теорію рівноплечих терезів;
- б) поняття про їхню чутливість;
- в) основні джерела похибки у терезів.

Проведімо уявний експеримент (активізуємо уяву і згадаймо дещо з повсякденного життя). Візьмімо двома пальцями лінійку за один кінець і тримаймо її вертикально. Виведемо її з рівноваги, вона повернеться в пальцях і встановиться вертикально (за умови, що ми даємо їй змогу повертатися). У цьому випадку центр мас лінійки міститиметься нижче від точки підвісу. Якщо ж її поставити вертикально на пальці, то знадобляться навички екілібриста, для того щоб вона не впала. Під час цієї демонстрації центр мас лінійки був вище від точки опори. Узагальнивши ці експерименти, можна стверджувати – система прагне зайняти положення з мінімумом потенціальної енергії, і це положення буде стійке, тоді, коли центр мас тіла буде нижчий від точки підвісу. Ці досліді і висновки з них допомагають зрозуміти роботу *важільних терез*.

1. Ідеальна система

Для спрощення міркувань розгляньмо рівноплечі терези. Їх зображено на рис. 1. Важіль FB завдовжки $2l$ ($FC = CB = l$) лежить на опорі в точці C . Вважаймо, що важіль невагомий, тонкий і абсолютно жорсткий (не деформується).

До середини важеля прикріпімо стрижень масою M_0 . Центр мас A стрижня віддалений від точки кріплення C на відстань d (положення точки A можна переміщати уздовж стрижня).

У горизонтальному положенні стрижня FB точка A (центр тяжіння стрижня) буде під точкою C . Таке положення центра тяжіння забезпечує стійку рівновагу системи. Тепер до кінців стрижня, у точках F і B підвісьмо вантажі однакової маси. До того ж точки F , B і C лежать на одній прямій. Оскільки моменти сил, які створюють ці вантажі, будуть рівні й протилежні за знаком (вантаж, підвішений на праве плече, обертатиме терези за годинниковою стрілкою, а вантаж, підвішений на ліве плече – проти годинникової стрілки). Стрижень залишиться в рівновазі. До одного з вантажів додамо доважок δm (у точці B). Рівновага порушиться. Важіль відхилиться від горизонтального положення на кут ϑ . При цьому центр мас стрижня вже міститиметься не під точкою опори C . Він переміститься по дузі в положення A_1 . Із рис. 1 видно, що плече сили $(m + \delta m)g$ буде $CD = l \cdot \cos \vartheta$. Плече сили mg , $KC = l \cdot \cos \vartheta$. Плече сили тяжіння стрижня $EC = d \cdot \sin \vartheta$.

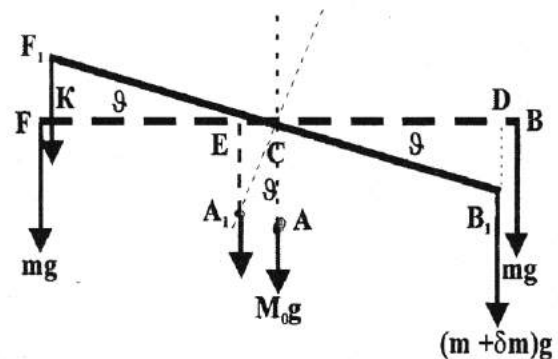


Рис. 1



З умови рівноваги терез у новому положення впливає, що сума моментів сил дорівнює нулеві. Нехай моменти сил, що обертають систему проти годинникової стрілки, будуть позитивні, а за годинниковою – негативні. Тоді

$$mg \cdot l \cdot \cos \vartheta + M_0 g \cdot d \cdot \sin \vartheta - (m + \delta m)g \cdot l \cdot \cos \vartheta = 0 \quad (1)$$

Після перетворень одержимо:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\delta m}{M_0} \cdot \frac{l}{d} \quad (2)$$

Це співвідношення вперше одержав Ейлер, тому його названо його іменем [2]. Проаналізуємо це співвідношення. Значення тангенса кута прямуватиме до нескінченності ($\operatorname{tg} \vartheta \rightarrow \infty$), тобто стрижень займе вертикальне положення при фіксованому значенні l у таких випадках:

а) $M_0 \cdot d \rightarrow 0$

Це означає, що обертальний момент сили тяжіння, який створений стрижнем масою M_0 , прямує до нуля. Невагомий стрижень зробити не вдається – конструкція повинна мати жорсткість, а ось розташувати центр тяжіння його поблизу точки опори можна, тобто $d \rightarrow 0$ положення центра мас стрижня прямує до точки C – до точки опори. А це означає, що малі значення δm викликають істотні відхилення важеля від рівноважного (горизонтального) положення. (На підставі викладеного вище, можна ввести поняття чутливості терезів. **Чутливість терезів** визначає той мінімальний еталонний вантаж, який зумовив контрольоване відхилення терезів із положення рівноваги). Для того, щоб повернути важіль у положення рівноваги, на протилежну шальку терезів потрібно покласти еталонну масу, що дорівнює невідомій масі доважки. Цей спосіб визначення невідомої маси шляхом порівняння його з еталонною називають **нульовим методом** або методом порівняння. Деколи його ще називають компенсаційним методом. Цей метод дає змогу під час вимірювання досягти точності (максимальної), яка смівмірна з чутливістю терез.

Проте слід зазначити, що зважування буде вельми складне через нестійкість терезів. За фіксо-

ваних M_0 і l для того, щоб було істотним відхилення кута за мінімальних (це визначає чутливість терезів) δm потрібно, щоб центр мас стрижня був якомога ближче до точки опори. При цьому виникають коливання значної амплітуди. Для усунення цих ефектів, які заважають зважуванню, застосовують, наприклад, демпфіруючі пристрої.

б) $\frac{\delta m}{M_0} \rightarrow \infty$.

Тобто коли $\delta m \gg M_0$. При цьому мінімально зважувана маса більша від маси стрижня і здатна повернути важіль на кут ϑ . Такий випадок технічно важко реалізувати. Реальні терези мають масу більшу, ніж мінімальний вантаж, що визначає їхню чутливість.

в) $\operatorname{tg} \vartheta = 1$

У цьому випадку обертальний момент дорівнюватиме моменту сил, який створений силою тяжіння доважки: $M_0 \cdot d = \delta m \cdot l$.

г) $\operatorname{tg} \vartheta \ll 1$

Тоді $\operatorname{tg} \vartheta \approx \vartheta$ і умова (2) матиме вигляд:

$$\vartheta = \frac{\delta m \cdot l}{M_0 \cdot d} \ll 1.$$

Якщо виконується ця умова (обертальний момент стрижня багато більший від моменту сил доважки), то таку систему важко вивести із стану рівноваги. Терези будуть стійкі, до того ж буде погана чутливість.

Реально, під час зважування, прагнуть повернути важіль у горизонтальне (початкове, нульове) положення, помічаючи малі кути його нахилу. Навіть якщо не робити спеціальних пристосувань, які давали б змогу фіксувати малі відхилення важеля, око людини в змозі зафіксувати мінімальний кут у $2'$. Оцінімо можливу чутливість терезів, виготовлених самостійно з підручних засобів. Нехай важіль відхилився під дією мінімального доважки на кут $\vartheta = 0,017$ рад, що відповідає 1° , маса стрижня $M_0 = 50$ г, довжина плеча важеля $l = 20$ см, і положення центра мас стрижня $d = 5$ мм. За таких значень мінімальний доважок, який порушить рівновагу (визначатиме чутливість) дорівнюватиме:

$$\begin{aligned} \delta m &= \frac{M_0 \cdot d}{l} \cdot g = \\ &= \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{0,2} \cdot 0,017 \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \end{aligned}$$

Шкільні терези, зазвичай, мають чутливість – 0,01 г. Ця чутливість задовольняє вимоги до виконання шкільних лабораторних робіт або експериментальних робіт олімпіад.

Для того, щоб виготовити добрі (чутливі) терези і забезпечити незалежність їхньої чутливості від маси вимірюваного вантажу, потрібно [3], виконати деякі умови, які зрозумілі з раніше одержаних співвідношень і зроблених припущень:

1. Коромисло із вантажем, урівноважене набором тягарців, чи без вантажу повинна мати положення стійкої рівноваги.

2. Миттєва вісь обертання коромисла не має переміщуватися відносно підставки.

3. Підп'ятники і призми не мають деформуватися під час зважування.

4. Чутливість терезів не має залежати від наявності на шальках урівноважених вантажів.

Такі терези були б ідеальні, оскільки не розглядали, наприклад, тертя в підвісі або опорі, що приводить до зниження чутливості терезів.

2. Тертя в системі

Ми розглянули ідеальну схему важільних терез. Реально в осях і точках опори можливі сили тертя, неідеальність поверхні торкання, при великих навантаженнях можливі деформації, і самого коромисла, і точки опори.

Розгляньмо один з найістотніших чинників, який впливає на чутливість і точність вимірювань під час зважування – це тертя [4, 5]. Нехай тепер важіль, який ми використовуємо як коромисло, не тонкий:

а) наприклад, візьмімо звичайну учнівську лінійку, центр мас якої розташований на відстані $O_1B = r$;

б) лінійку зрівноважмо на поверхні циліндричного тіла, наприклад, на олівці $OA = R$;

в) коефіцієнт тертя між лінійкою і циліндричною поверхнею μ ;

г) центр тяжіння лінійки міститься над точкою опори точки циліндра в точці A .

На рис. 2 зображено лінійку, яка нахилена на деякий кут φ до горизонту. Ми також вважатимемо, що із збільшенням кута нахилу лінійка не зі-

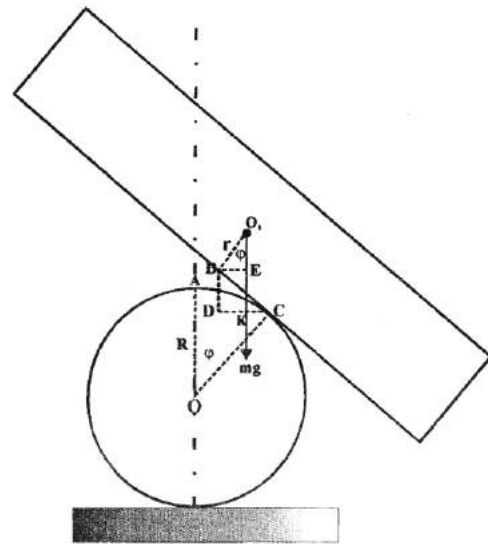


Рис. 2

ковзуватиме. Її до якоїсь точки утримуватиме сила тертя. Зі збільшенням кута нахилу лінійки точка A (точка первинного дотику) підійматиметься і перейде в точку B . При цьому підніметься і центр мас лінійки. На рисунку зображено, що напрям сили тяжіння лінійки не проходить через точку опори – точку C . Отже, під дією сили тяжіння лінійка прагнучиме в початковий стан – прагнучиме зайняти горизонтальне положення. При такому розташуванні лінійки виконуватиметься умова $DC > BE$. Оскільки

$$BE = r \cdot \sin \varphi, \text{ а } DC = BC \cdot \cos \varphi = R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi.$$

За відсутності проковзування дуга $AC = BC = R\varphi$. Тоді умова $DC > BE$ буде пов'язана з параметрами циліндра і лінійки так:

$$\frac{r}{R} < \frac{\varphi}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (3)$$

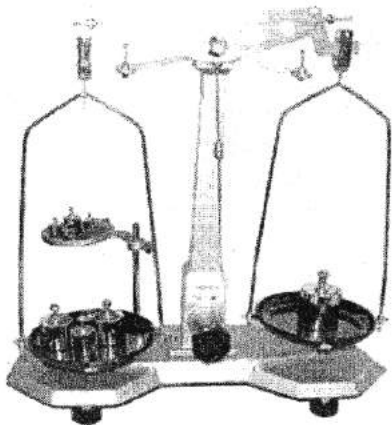
Це умова, за якої напрямок сили тяжіння не проходить через точку опори тіла. Сила тяжіння лінійки створюватиме обертальний момент відносно точки C .

а) якщо $M > 0$, то лінійка повернеться в початковий стан. Тобто

$$mg \cdot KC = mg \cdot (R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi - r \cdot \sin \varphi) > 0 \quad (4)$$

або одержуємо співвідношення (3);

б) для випадку $M = 0$, одержуємо, що $KC = 0$. А це означає, що напрямок сили тяжіння проходить через точку опори.



$$R \cdot \varphi \cdot \cos \varphi = r \sin \varphi \quad (5)$$

Новий стан нестійкої рівноваги.

Оскільки $\operatorname{tg} \varphi > \varphi$, то $\frac{\varphi}{\operatorname{tg} \varphi} < 1$. З чого випливає,

що має виконуватись умова $r < R$. Тоді верхнє тіло утримується на нижньому тільки завдяки силі тертя між ними. Відомо, що коефіцієнт тертя

ковзання пов'язаний з кутом нахилу площини, на якій тіло ковзає зі сталою швидкістю, так: $\operatorname{tg} \varphi = \mu$. Враховуючи це можна оцінити граничний кут нахилу лінійки, яка утримуватиметься за рахунок сил тертя на поверхні циліндра

$$\frac{\varphi}{\mu} = \frac{r}{R} \quad \text{або} \quad \varphi = \mu \cdot \frac{r}{R}.$$

При коефіцієнті тертя дерево об дерево [6] $\mu = 0,2 - 0,3$, $r = 1$ мм, $R = 1$ см, отримаємо, що $\varphi = 0,02$ рад. Або $1,15^\circ$, якщо лінійка і олівець є пристроєм для зважування, то виникає неоднозначність в одержаних результатах – чи те відхилення важеля викликано додатковим вантажем на такий кут, чи то важіль утримується в такому положення силами тертя;

в) випадок, коли напрямок сили тяжіння виходить за точку, не є цікавим для цієї задачі. Адже в цьому випадку тіло просто зісковзне з опори.

Важливо також зазначити, що, для того, щоб тіло могло повертатися в рівноважний стан за наявності в системі сил тертя, потрібно, як впливає з нерівності (3), розміри опори завжди мають бути більші від висоти центру мас коромисла, оскільки $\operatorname{tg} \varphi > \varphi$. При $r > R$ система буде в нестійкому стані.

Отже, терези, виготовлені самостійно з підручних засобів, можна застосовувати для проведення лабораторних і олімпіадних робіт, але при цьому слід пам'ятати про співвідношення розмірів підставки і коромисла, а також враховувати вплив сил тертя в системі.

Література

1. Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.). – М.: Высш. шк., 1989.
2. Курс механики // Составлен по записям лекции Зилова. – Киев, 1908.
3. Варламов С. Школа в Кванте. Рычажные весы. – 2003. – № 1. 34 с.
4. Бутиков Е. И., Быков А. А., Кондратьев А. С. Физика для поступающих в ВУЗы. – М.: Наука, 1978. – 100 с.
5. Задачи по физике, под ред. О. Я. Савченко. – М.: Наука, 1988.





АЛАМОГОРДО

*Продовження, початок дивіться в журналі
"Світ фізики", 2005. № 2 і № 3.*

...Планування операції з випробування "Гладуна", з кодовою назвою "Трійця", почалося навесні 1944 р., після того, як ми з Оппенгаймером вирішили, що з погляду перевірки складної теорії бомби, правильності її конструкції, виготовлення і складання, загалом її боездатності, таке випробування вельми доцільне.

Ми передбачали тоді можливість здійснити вибух бомби в замкнутому контейнері для того, щоб у разі слабого вибуху можна було зберегти якомога більше дорогого плутонію. До того ж, ми думали, як запобігти зараженню великої території завдяки його розсіянню. Для цього ми замовили фірмі "Бебкок енд Вілкокс" масивний сталевий контейнер, який за його гігантську масу, розміри і міцність назвали "Джумбо". Щоб його перевезти із заводу, де його виготовили, який розташований на сході США, до Нью-Мексико потрібна була спеціальна платформа, на якій обережно перевезли цей циліндр до найближчої від місця випробувань залізничної станції. Там контейнер перевантажили на спеціально побудований 18-вісний причіп, і далі шосейною дорогою перевезли на віддаль 50 км від Аламогордо. Однак ми вирішили відмовитись від застосування "Джумбо", оскільки накопичені відомості свідчили про те, що вибух матиме велику силу. Навіть якщо потужність вибуху перевищить 250 тонн тротилового еквіваленту, як передбачало багато учених, цей контейнер був би лише джерелом додаткової небезпеки.

Цікаво уявити собі, щоб сталося б, якби вибух, який має насправді потужність майже 20 кілотонн, відбувся всередині контейнера. Вся сталева оболонка, напевно, не встигла б випаруватися, і оскільки розірваного на шматки контейнера рознесло б на дуже велику відстань.

Випробуванням безпосередньо керував доктор Бейн-Брідж – фізик, який спеціалізувався в галузі електротехніки. Це був спокійний і тямущий фахівець, який користувався повагою і любов'ю



колег. Він разом із Оппенгаймером, майором Стівенсом – керівником будівельних робіт у Лос-Аламосі та майором де Сільва, начальником служби безпеки, вибрав місце випробування.

Я був проти того, щоб використовувати для випробування район Лос-Аламоса, тому що там було складно зберегти таємницю. Ми прийшли до згоди, що район випробувань мав би мати розміри 27–40 км, який був би розташований у малонаселеній місцевості й був від Лос-Аламоса не далі, ніж це потрібно. Я, зі свого боку, додав ще одне обмеження – в районі не мало бути жодного індіанця. Це було зумовлено бажанням уникнути труднощів, які створив би нам секретар внутрішніх справ Ікес, який керував Бюром зі справ індіанців, чие бажання показати свою владу додало б нам нових труднощів.

Розглянувши декілька варіантів, комітет, зрештою, зупинився на районі Аламогордо. Цей район належав до території авіаційної бази. Генерал-майор Ент, якому підпорядковувалась ця авіабаза, швидко зробив всі розпорядження для її використання.

До останнього часу ми точно не знали, коли зможемо розпочати випробування, оскільки це залежало від надходження окремих деталей бомби й успішності її збирання. Я вважав, що мені варто бути присутнім на випробуванні. Буш і Конент, природно, також бажали цього.



Поки точної дати випробування ще не було встановлено, ми вирішили відвідати деякі об'єкти, розташовані на Тихоокеанському узбережжі. У випадку, якщо б час випробування раптово призначили, ми змогли б вчасно повернутись до Аламогордо. Повітряний транспорт в ті дні дуже відрізнявся від сучасного. Аеродром у Пасадені, де ми зробили посадку, був невеликий, і доступу до посадкової смуги заважала лінія високої напруги, яка проходила поряд. Заходячи на посадку, наш пілот спустився дуже низько, так, що лінія високої напруги виявилася по курсу. Замість того, щоб повторити захід на посадку, пілот перелетів через лінію і ковзаючи крилом, посадив літак з великим боковим і повздовжнім нахилом. Наша шумна посадка привернула увагу всіх, хто перебував у невеликому службовому приміщенні аеродрому. Серед тих, хто вибіг із будівлі, був один офіцер із моєї особистої охорони, що запізнився на літак у Сан-Франциско і чекав нас у Пасадені. Як він згодом розповідав, перше, що йому спало на думку було: "Ну ось, як же я тепер зможу пояснити загибель Буша, Конента і Гровса, не привертаючи уваги до проєкту та не допустивши порушення таємниці".

Наступного ранку ми вилетіли рано, щоб уникнути передбаченого лос-аламоського туману. Прибувши до табору Аламогордо, 15 липня, я мав коротку розмову з Оппенгаймером, з якої я зрозумів, що нашій операції загрожує небезпека. Бомбу було виготовлено і встановлено на 33-метрову металеву вежу, однак, погода не була сприятлива для випробування. Мені також не подобалась атмосфера гарячкового збудження, яке панувало в таборі, тоді як у цей момент, як ніколи, треба було зосередитись і заспокоїтись. Оппенгаймера обсідали з усіх боків, радили йому що робити, а чого неробити. Обмірковуючи що ситуацію з Фареллом, який уже декілька днів перебував у таборі, ми дійшли висновку, що найкращий вихід – це спокій в роботі табору.

Не можна було точно передбачити погоди в районі Аламогордо. В наше підпорядкування передали найкращих синоптиків, які впродовж уже тривалого періоду точно передбачали погоду в районі Аламогордо. Єдина їхня помилка була саме того дня. Той вечір був дощовим і вітряним. Вітер дув у сприятливому для нас напрямку.

У гарній погоді ми були дуже зацікавлені з декількох причин. По-перше, ми хотіли уникнути, наскільки це було можливо, радіоактивних викидів, особливо в населених районах. Цьому не надавали особливого значення, поки незадовго до описаного моменту один з лос-аламоських науковців не вказав їм на серйозність небезпеки з боку радіоактивних викидів. Ми хотіли, щоб під час випробувань не було дощу, оскільки в разі радіоактивних викидів, вони, не встигнувши розвіятися в повітрі, могли випасти на відносно невеликій ділянці й мати високу концентрацію. Ухвалюючи це рішення, ми також враховували відомий з давніх часів факт, не маючи правда, ще наукового пояснення, що інтенсивна гарматна стрілянина під час великих битв викликає дощ.

По-друге, для нас був дуже важливий напрямок вітру, оскільки ми не хотіли допустити, щоб утворена хмара пройшла над населеними районами перш, ніж її радіоактивність достатньо зменшиться. Особливо для великих населених пунктів. Якнайбільше в цьому плані нас хвилювало місто Амарилло, яке розташоване на віддалі 480 кілометрів від району випробувань, проте нас хвилювали й деякі інші міста. З цих причин напрямок вітру треба було вибрати з точністю декілька градусів.

По-третє, гарна погода була потрібна для літаків, які мали спостерігати в районі вибуху. До того ж, дощ і вогкість були небезпечні для електроізоляції провідників, потрібних для підірвання бомби і керування багатьма приладами.

Багато хто з радників Оппенгаймера в таборі, а до 6-ої години вечора до них заходили навіть люди, які не займали відповідальних посад, наолягали, щоб випробування було відкладено хоча б на добу. Я бачив, що в такій метушні важко ухвалити виважене рішення, тому забрав Оппенгаймера у підготовлений для нього кабінет, де ми могли спокійно поговорити, не поспішаючи обміркувати стан справ. До того ж, у цій розмові брали участь декілька синоптиків, яких ми спеціально запросили.

Я був дуже зацікавлений, щоб випробування відбулося за графіком, бо знав, яке значення може мати ця подія під час перемовин у Потсдамі. Кожний зайвий день зволікання з випробуванням означав зайвий день війни. І не тому, що ми



запізнаємось з виготовленням бомби, а тому що зволікання з прийняттям Потсдамських рішень відтермінує відповідь Японії, і відповідно, віддасть день атомного бомбування.

Із технічного погляду, також було бажано провести випробування якнайшвидше, оскільки кожна зайва година перебування електричних з'єднань у дуже вологому середовищі збільшувала ймовірність неполадок. Ще більше були вразливі електричні з'єднання в приладах, які були виготовлені не так надійно, як електрична схема самої бомби.

Кожна зайва година збільшувала ймовірність того, що хто-небудь спробує завадити випробуванню. Люди перебували у великому нервовому напруженні й, можливо, що хтось міг і не витримати цього. Урешті ми з Оппенгаймером домовились не відкладати випробування на добу, а почекати ще години дві. На початку планували випробування провести о 4-й годині ранку 16 липня. У цей час доби, коли майже всі люди сплять, було вибрано для того, щоб вибух могла побачити мінімальна кількість сторонніх осіб. Ми очікували, що вибух буде супроводжуватись яскравим спалахом, та все ж не настільки сильним, щоб розбудити мешканців населених пунктів, віддалених від полігону. До того ж, нам для фотографування потрібна була темрява.

Я домовився з Оппенгаймером зустрітись знову о першій годині ночі, щоб ще раз проаналізувати ситуацію і постаратись дотримуватись запланованого розкладу, якщо погода до того часу поліпшиться. Я переконував його піти поспати, або хоча б трохи відпочити і подав йому приклад. Однак він мене не послухав.

Опівночі я знову зустрівся з Оппенгаймером і знову обміркував з ним стан речей. Ми вирішили залишити табір і перейти на захищений пункт керування на вісім кілометрів ближче до бомби. На цьому пункті перебували люди, які були зобов'язані там бути. Там був також Фарелл. У бункері, де був розташований пункт керування, теж було напружено, але сум'яття не було, напевно, тому, що всі були зайняті справами. Наближалася назначена година, та ми вимушені були відкласти вибух ще на деякий час.

За цей час погода помітно не поліпшилась, але, на щастя, і не погіршилась. Було хмарно,

йшов невеликий дощ, повітря було дуже вогке. На небі було ледь видно окремі зорі. Щоп'ять чи десять хвилин ми з Оппенгаймером виходили з бункера, щоб перевірити стан погоди. Цим я прагнув захистити Оппенгаймера від тієї напруги, яка панувала навколо, щоб він міг спокійно оцінити ситуацію. Це було найважливіше – від нього залежало остаточне рішення.

Перед тим, як ми призначили випробування, ми одержали повідомлення від капітана другого рангу Парсонса, який чекав на аеродромі в Альбукерці, на наказ підняти в повітря літаки спостереження: начальник авіабази заборонив вильоти через несприятливі метеорологічні умови, однак вирішив проводити випробування незалежно від цієї заборони. Літаки все ж піднялись у повітря, але через негоду цінність одержаної інформації була значно менша від очікуваної. Головне завдання спостерігачів, особливо Парсонса, який перебував на одному з них, було оцінити яскравість спалаху, щоб згодом порівняти її з яскравістю вибуху бомби, яку згодом буде скинуто на Японію. Як тільки було ухвалені рішення, жодних додаткових наказів не вимагалось. За 30 хвилин до моменту "нуль" п'ятеро вартових, які охороняли бомбу, залишили свій пост біля підніжжя вежі й на джипах добрались до бункера (у попередній репетиції випробування було використано декілька тонн тринітротолуолу, єдиний джип, який мала охорона, вийшов з ладу. Цього разу ми запаслись декількома автами). Охороні дали чіткі інструкції, і я знав, що вони знайдуть спосіб укриття навіть у разі поломки всіх авт. У крайньому разі, за ті 30 хвилин, які залишились до вибуху, вони могли пройти пішки декілька кілометрів. Вони також мали ключ від дверей до укриття, де був пусковий пристрій. Якщо б вони не повернулись у зазначений строк, ми б пережили важкі хвилини. На щастя, цього не відбулося. Коли вони покинули свій пост, було ввімкнено раніше встановлені прожектори, що були орієнтацією для літаків спостереження і для зручності спостереження за вежею пункту керування. Ці заходи, як нам здавалось, мали б відлякати навіть найвідважнішого диверсанта.

Дещо згодом, залишивши Оппенгаймера на пункті керування, я повернувся до табору. Там панувало хвилювання, але напруга уже спала.



Більшість присутніх вже багато місяців і навіть років готувалася до цього моменту, і тепер вони були лише спостерігачами.

Наші приготування були прості. Кожному було наказано, коли відлік підійде до "нуля", лягти обличчям до землі, ногами в бік вибуху, заплющити очі й затиснути їх долонями. Як тільки відбудеться вибух, було дозволено встати і дивитися крізь закопчені скла, які всі мали. Часу, потрібного для виконання цих рухів, як вважали, було достатньо, щоб уберегти очі від опіків. Наближалась остання хвилина, настала напружена тиша. Я лежав на землі між Бушем і Конентом і думав лише про те, що ж мені робити, якщо при відліку "нуль" нічого не відбудеться.

Вибух відбувся одразу ж після відліку "нуль" о 5-й годині 30 хвилин 16 липня 1945 року. Моїм першим враженням було відчуття дуже яскравого світла, що залило все навколо, а коли я обернувся, то побачив знайому тепер багатьом картину вогняної кулі. Першою моєю, а також Бушай Конента, реакцією, поки ми ще сиділи на землі, спостерігаючи за цим видовищем, був мовчазний обмін рукостисканням. Нарешті, за 50 секунд після вибуху, до нас дійшла ударна хвиля. Я здивувався її порівняльно малою слабкістю. Насправді ударна хвиля була не такою вже й слабкою. Просто спалах світла був таким сильним і таким неочікуваним, що реакція на нього понизила на деякий час наше сприйняття.

Фермі таємно від усіх приготував дуже просте пристосування для вимірювання сили вибуху – клаптики паперу. Коли підійшла ударна хвиля, я бачив, як він випустив їх із рук. На землі вітру не було, тому ударна хвиля підхопила і відкинула їх. Фермі відпускав їх з певної висоти, яку він попередньо виміряв, тому йому потрібно було тепер тільки знати, на якій віддалі вони впали на землю. Він ще раніше обчислив залежність сили вибуху від віддалі до нього. Тепер, вимірявши віддаль до місця, де впали клаптики паперу, він тут же оголосив, яка потужність вибуху. Його розрахунок збігався з даними, одержаними згодом на підставі показів приладів.

Напередодні увечері я був трохи роздратований поведінкою Фермі, коли він раптом запропонував своїм колегам укласти парі – чи підпалить бомба атмосферу чи ні, і якщо підпалить, то чи буде

знищений лише штат Нью-Мексико чи увесь світ. "Не так вже й важливо, – казав він, – вдасться вибух чи ні, це лише цікавий науковий експеримент, оскільки у разі невдачі буде встановлено, що атомний вибух неможливий". Згодом я зрозумів, що ці розмови мали заспокійливу дію на його колег і трохи розряджали напругу, яка панувала навкруги. Мені здається, що Фермі робив це свідомо, оскільки з боку це виглядало, що він не нервував.

Серед службовців проєкту була одна людина, яку події цього ранку застали знеацька. Це був солдат. Напередодні увечері він повернувся зі звільнення і, як мені згодом доповіли, досить веселеньким. Якось військова поліція, здійснюючи обхід бараків, його не помітила, і вибух застав його напівсонного на ліжку. Після вибуху він на деякий час осліп, однак за декілька днів його зір відновився. Згодом ходило багато чуток про його твердий намір не брати більше в рот спиртного.

Другою жертвою вибуху був "Джумбо". У момент випробування він стояв у вертикальному положенні на віддалі майже 450 метрів від вежі. Силою вибуху його повалило на землю, і він ще багато років лежав там як мовчазний свідок потужності сил, які приховані в нескінченно малому атомі.

Я планував пробути в Аламогордо ще декілька годин; мені хотілось переконатися, що радіоактивні опади не спричинили ускладнень. Щоб повніше використати цей час, я водночас хотів обговорити деякі питання, пов'язані з операцією проти Японії, з членами Лос-Аламоської групи, яка була присутня на випробуваннях, які незадовго відбули на Тініан. Я також хотів порадитись з Оппенгаймером з деяких важливих питань. Ці розрахунки виявились зовсім нереальні, оскільки кожний, хто був присутній на випробуваннях, перебували в напруженому стані. Реакція присутніх перевищила всі очікування. Кожний із нас – учених, військових, інженерів – розумів, що ми не просто досягли успіху в створенні бомби, а були безпосередніми учасниками і свідками величезної події, яка не могла не викликати тверезих думок про його наслідки. Явище, яке ми тільки що спостерігали, обговорювали в деталях уже декілька років, однак воно завжди розглядалось лише як деяка можливість, а не як дійсність.



Незадовго після вибуху Фарелл і Оппенгаймер разом із іншими, які тоді перебували на пункті керування, повернувся до табору. Перші слова Фарелла, коли він підійшов до мене, були: "Війна закінчена". Я відповів: "Так, але після того, як ми скинемо ще дві бомби на Японію". Я привітав тоді Оппенгаймера, сказав, що гордий за нього і всіх його людей. Він подякував. Я впевнений, що в той момент ми обидва думали вже про майбутнє, про те, чи зможемо ми повторити наш успіх і забезпечити перемогу.

Єдине, що я міг робити, – це перевірити закінчені етапи операції і насамперед заходи із захисту від можливих викидів. Ці обов'язки було покладено на нашого головного лікаря, полковника Воррена, який провів велику роботу з підготовки до збирання відомостей про випадання радіоактивних викидів і до заходів із захисту населення від їхньої небезпеки.

Найбільше мене турбувала можливість випадання високорадіоактивних викидів у населених районах чи навіть у районах, де знаходилися окремі ферми. Ми підготували мережу спостережень, озброєних лічильниками Гейгера, які розмістили на шляху радіоактивної хмари, і записували покази лічильника, відповідно до проходження хмари. Ці відомості поступали в Аламогордо. На випадок евакуації, у нас були наготові вантажівки, готові в будь-який момент до виїзду. Було також заздалегідь підготовлений наказ про введення військового стану на тій території, де це буде потрібно. Звичайно, ймовірність застосування всіх цих засобів зменшувалась із віддаленням від полігону.

Перші відомості почали надходити за півгодини після вибуху, а після перших трьох вирішальних годин ми уже були впевнені, що все обійшлося добре.

Прийшовши на командний пункт Воррена незадовго після вибуху, я виявив, що він настільки захопився підготуванням до випробування, що не спав дві доби. Його вказівки були розумні й зрозумілі, але, дослухаючись до його розмов телефоном, я зрозумів, що його голова працює не так, як звичайно. На щастя, в Аламогордо був ще один лікар із військово-морського флоту, який був знайомий з нашою діяльністю. Я наказав йому на деякий час замінити Воррена, щоб той міг відпочити, і дорікав собі за те, що не забезпечив

Ворренові належних умов для збереження доброго фізичного стану. Однак із надходженням повідомлень ставало зрозуміло, що викиди не принесуть прикросців.

До 11-ої години ранку виникла небезпека розголосу відомостей про випробування. До альбукеркського відділення Асошіейтед Прес ми прикомандирували офіцера, який мав завдання не допустити передавання будь-яких повідомлень, де б згадувалось про випробування. Коли наблизилась 11-та година, представник агентства заявив цьому офіцерові, що він більше не може відмовчатися і, якщо армія не опублікує ніяких відомостей, він буде вимушений передати власний репортаж про події.

Ми підготували до опублікування таке повідомлення ще за декілька тижнів до випробування, доручивши генералу Вільямсу, якому підпорядковувалось командування авіабази в Альбукерці, скерувати її командирові відповідні інструкції. Ці інструкції було доручено доправити моєму співпрацівникові лейтенантові Перішу, здібному молодому юристові з Техасу. Виховані манери цієї людини з неухильним виконанням приписів визначили мій вибір. Він легко зорієнтувався у ситуації й успішно справився з цією місією.

У листі було сказано, що командир авіабази має виконувати всі вказівки лейтенанта. Природно, першим запитанням командира, коли він прочитав листа, було: "Навіщо все це потрібно?" Періш відповів: "На жаль, полковнику, але я не можу вам цього пояснити". Полковник лютував. Він все ж поцікавився, які ж будуть інструкції, але одержав таку саму відповідь. Далі була дуже жорстка критика методів роботи Вільямса і моїх. Врешті полковник заявив, що він не бажає мати з нами справи, і скерував Періша до свого начальника штабу, якому наказав, однак, виконувати вказівки Вільямса.

Єдиним засобом мого спілкування з командиром авіабази був звичайний телефон. Я напередодні попередив командира, що випробування, можливо, приведуть цієї ночі, тому всі літаки його бази мають бути на землі до нових розпоряджень. Аналогічні вказівки було дано цивільній авіації, а також авіації армії та флоту, щоб у момент вибуху в районі бази не було в повітрі жодного літака. Ці заходи суперечили інтересам



авіабази, завдання якої полягала в тренуванні екіпажів бомбувальників B-29 перед їхнім відправленням на тихоокеанський театр воєнних дій. Командир кожного підрозділу намагався надати максимум часу своїм екіпажам для тренування в повітрі. Все, що знали люди на цій авіабазі, зводилось до того, що за якусь таємничу причину їхні тренування було перервано.

Рано-вранці 16 липня начальник штабу і Періш були на контрольній вежі авіабази. Начальник штабу, очевидно, враховуючи складність ситуації, в яку потрапив Періш, поведився дуже лояльно. Не питаючи зайвого, він поцікавився лише тим, що він мав, на думку Періша, робити в той чи той момент. У момент вибуху на аеродромі вже було багато людей, а за деякий час їх стало тисячі, вони готували літаки до вильотів. Після розумного відтермінування, дали дозвіл на польоти, і тренування відновились. Перішу також вручили текст офіційного повідомлення, яке мав зробити командир авіабази в Аламогордо. Кожне слово в цьому тексті було забезпечено номером, так що можна було, не побоюючись підслуховування проводити в ньому потрібні по ходу подій зміни.

Коли представник Асошіейтед Прес став на полягати на поясненнях, я зателефонував Перішу, і, зробивши деякі зміни в тексті повідомлення, наказав передати його пресі. Командир бази армійської авіації в Аламогордо, – мовилося в цьому повідомленні, зробив таке повідомлення: "Мене запитали про сильний вибух, який відбувся на території бази сьогодні вранці. Вибух стався на віддаленому від інших об'єктів складі, де зберігалась велика кількість вибухових речовин і піротехнічних засобів. Під час вибуху нікого не було вбито чи поранено, а збитки, нанесені іншим спорудам, мінімальні. Метеорологічні умови, які ускладнювали ліквідацію наслідків одночасного вибуху декількох балонів з газом, можуть вимагати тимчасову евакуацію невеликої кількості мешканців із цієї місцевості".

Водночас у довколишніх населених пунктах, особливо в Ель-Пасо, мешканці були дуже стривожені цими подіями. Як часто буває в таких випадках, вибух, не спричинивши ніяких збитків табору та іншим розміщених поблизу об'єктам, пошкодив одне чи два дзеркала в місті Силвер-Сіті на віддалі 180 кілометрів.

Газети в Ель-Пасо вийшли з аршинними заголовками про вибух і його наслідки. Завдяки пильності та енергійності управління цензури вдалось запобігти появі будь-яких повідомлень про вибух у газетах східної частини США, за винятком декількох рядків в одній ранковій газеті Вашингтона. На Тихоокеанському побережжі США ці новини попали в радіопрोगрами і швидко поширювались.

Однією з причин, яка затримувала випуск офіційного повідомлення, було те, що ми не знали, як доведеться нам проводити евакуацію населення. Тому, даючи вказівки Перішу, я і додав слова про газові балони. Однак цим повідомленням не всіх удалось здурити. За декілька днів, коли я повернувся до Вашингтона, до мене із запитаннями, пов'язаними з Ганфордом, зайшов службовець компанії "Дюпон" Еванс. Закінчуючи нашу розмову, він, відчиняючи двері, повернувся і сказав:

– До речі, генерале, дозвольте передати вам вітання від працівників компанії.

– Це з якого приводу?

– Просто ми вперше почули, що в армії вибухові речовини, піротехнічні й хемічні засоби зберігаються на одному складі, – відповів він, додавши, що повідомлення радіостанцій Тихоокеанського побережжя було передано телетайпом у Вілмінгтон із Ганфорда. Мені не залишалось нічого, крім як відповісти:

– Дивно, що армія допускає такі речі. Чи не так?

За день до випробування мою секретарку місіс О'Лірі попередили, щоб вона була на роботі о 6-й годині 30 хвилин наступного дня і була готова прийняти телефонограму. Однак через затримання випробування я зателефонував їй лише о восьмій тридцять ранку. В О'Лірі був особливий код, яким я мав би передавати їй повідомлення про випробування телефоном чи телетайпом. До того ж, у нас з нею був ще один шифр, про який ніхто більше не знав, і, використовуючи який, я міг вільно говорити з нею телефоном. Я передав їй головні відомості про випробування, які мали бути передані далі кабелем військовому міністрові до Потсдаму. Перед від'їздом до Потсдаму Стімсон установив спеціальний канал зв'язку зі мною, призначивши для цієї мети своїм представником у Вашингтоні з атомних справ Гаррісона. Ці заходи дали змогу не лише швидко з'єднуватися з ним, а й була додатковою гарантією секретності.



Написавши перший абзац, яким визначався загальний стиль звіту, я сказав Фареллу, про що треба написати далі. Це дало йому змогу відразу приступити до роботи над першим варіантом звіту.

О 6-й годині 30 хвилин вечора я вже виправляв цей варіант звіту, який написав Фарелл. Закінчивши чернетковий варіант звіту, я перевіряв його і увесь вечір удосконалював його. Оскільки звіт був особливо таємним, до його опублікування, крім О'Лірі, ми могли допустити лише ще одну ретельно перевірену друкарку. Вони працювали того дня з 8-ої години ранку до півночі лише з перервами на обід і вечерю. Коли робота над звітом підходила до кінця, вони вже настільки втомились, що кожна сторінка була для них випробуванням. О 2-й годині ночі звіт був нарешті підписаний і терміново переданий на літак, який летів до Потсдаму.

У Потсдамі він пішов спочатку до помічника Стімсона, полковника Кайла, який передав його Стусонові об 11-й годині 35 хвилин 21 липня. Той разом з Бенді відразу прочитав звіт і домовився про зустріч з Труменом найближчим часом. О 3-й годині дня Стімсон дав прочитати звіт Маршаллу та обговорив його з ним. Тоді він прибув на віллу Трумена і прочитав звіт йому та Бірнсу. Далі разом з Бенді він мав розмову із Черчілем і лордом Черуеллом. Цю розмову довелося перервати. Однак наступного ранку її продовжили.

У щоденнику Стімсона добре описано події тих днів. "Черчіль прочитав звіт Гровса повністю і розповів мені про вчорашню зустріч великої трійки. Тому, як Трумен енергійно і рішуче заперечував натиск росіян і категорично відкидав їхні вимоги, він зрозумів, що той натхненний якимись подіями. "Тепер я знаю, що з ним відбувалось, – сказав він. – Вчора я не міг зрозуміти, в чому річ. Коли я прийшов на конференцію після прочитання звіту, це була зовсім інша людина. Він твердо заявив росіянам, на що він погоджується, а на що ні, і загалом мав перевагу на цій нараді". Черчіль додав, що йому зрозумілі причини такого поживлення Трумена, і він сам тепер відчуває те ж саме".

Одержавши вістку про успішне випробування в Аламогордо і підтвердження нашої готовності провести атомну атаку за умови сприятливої погоди уже 31 липня зміцнило рішення наших ке-

рівників про невідкладне пред'явлення ультиматуму Японії. Наскільки відрізнявся б цей ультиматум, якщо б не було нашого повідомлення, я не берусь судити, однак, зрозуміло, що, маючи його, вони, Трумен і Черчіль, діяли впевненіше.

У доповідній записці від 18 червня 1945 р. військовому міністрові Гровс писав: "... У 5-ій годині 30 хвилин 16 червня 1945 року у віддаленому секторі авіабази в Аламогордо (штат Нью-Мексико) було здійснено перший вибух атомної бомби. Перший в історії людства атомний вибух. І який вибух! Бомби не скинули з літака, а підірвали на верхній платформі 33-метрової сталеві вежі.

Успіх випробування перевершив найоптимістичні прогнози. На підставі доступних нині даних я можу оцінити вивільнену під час вибуху енергію, як еквівалентну енергії вибуху 15–20 тисяч тонн тринітотолуолу.

Варто зазначити, що ця оцінка ґрунтується на найскромніших підрахунках. Результати вимірювань, які, правда, ще не вдалося повністю узгодити між собою, вказують на те, що вивільнена насправді енергія перевищувала вказану в декілька разів. Сила ударної хвилі мала гігантську величину. Яскравість спалаху на віддалі 32 кілометри була в декілька разів більша, ніж сонячне світло опівдні. Після спалаху на декілька секунд утворилася вогняна куля. Далі ця куля мала грибоподібний вигляд, і яскравість її зменшилась. Спалах під час вибуху було добре видно на віддалі майже 300 км. Звук від вибуху поширився майже на 160 км. Ударною хвилею було вибито декілька шибок. В одному випадку це відбулося на віддалі 200 км від місця вибуху. Утворена гігантська хмара, клубогучись, піднялась і за 5 хвилин досягла висоти 11 тис. м. Хмара безперешкодно проминула шар різкої зміни температури на висоті 5,2 тис. м, і який, на думку багатьох учених, мав її зупинити. Відразу після основного вибуху всередині хмари відбулося послідовно ще два. Хмара містила пилюку, підхоплену з поверхні землі, і велику кількість парів заліза. Ми вважали, що вторинні вибухи були спричинені саме парами заліза, які з'єдналися з киснем повітря. Хмара була насичена великою кількістю радіоактивних речовин, які утворилися під час ланцюгової реакції поділу.

Унаслідок вибуху на віддалі 370 м було знищено всю рослинність, і де утворився чашоподібний



кратер діаметром 37 м і завглибшки 1,8 м. Верхня центральної частини кратера складалася з дрібнорозпиленої землі. Речовина, яка покривала віддалені ділянки кратера, була зеленуватого кольору, що було виразно помітно з віддалі майже 9 км. Сталева конструкція вежі випарувалась. Сталева труба діаметром 10 см і заввишки 5 м залита бетоном і укріплена розтяжками, яка була на віддалі 150 м, також повністю випарувалась.

На віддалі 500 м від точки вибуху був розміщений масивний сталевий циліндр масою 220 тонн. Основа циліндра була залита бетоном. Циліндр був оточений міцною сталеву конструкцією заввишки 21 м, міцно скріпленою з бетонним фундаментом. Ця конструкція була подібна до сталевих каркасів 15–20-поверхового будинку. На її будівництво використали майже 40 тонн сталі, а її висота дорівнювала висоті 6-поверхового будинку. Поперечні зв'язки в цій конструкції були набагато міцніші від звичайних. Відсутність навісних стін зменшувало поверхню, на яку діяв тиск і, відповідно, силу дії ударної хвилі. Унаслідок вибуху ця конструкція вирвалося з бетонного фундаменту, перекинуто та розірвано на шматки. Це доводило, що розміщений на такій віддалі від центра вибуху цегляний будинок із сталевим каркасом мав би бути повністю зруйнований.

Хмара від вибуху піднялась на величезну висоту. Спочатку вона мала форму сфери, згодом перетворилась на грибоподібну і, нарешті, утворила при основі стовп, подібний на трубу, і яка згодом розсіювалася повітряними течіями в різні напрямки. Пилука і радіоактивні частинки з хмари випали на великій площі. За проходженням хмари і випаданням спостерігали фахівці з медицини і науковці, які мали прилади, що реєстрували радіоактивність. Хоча місцями радіоактивність випадів досягала значної величини, її концентрація ніде не перевищувала норми, яка б вимагала евакуації населення. Невелику кількість радіоактивних випадів було зареєстровано до віддалей майже 190 км від місця вибуху.

Вимірювання проводили, щоб мати дані, потрібні для захисту інтересів держави за можливих претензій у майбутньому. Впродовж перших декількох годин я був зовсім не впевнений у позитивному результаті.

Наприклад, на віддалі майже 320 км були спостерігачі, завданням яких було реєструвати ефекти ударної хвилі, нанесені матеріальні збитки, рівень радіоактивності та реакцію населення. Хоча повні звіти від спостережних постів ще не надходили, я можу стверджувати, що під час випробування ніхто не постраждав, а матеріальні збитки поза забороненою зоною – мізерні.

Як тільки одержані дані буде перевірено і узгоджено між собою, ми зможемо докладно проаналізувати наслідки.

Дані прогнозу погоди вказували, що, починаючи зранку 17 червня впродовж чотирьох днів атмосферні умови будуть сприятливі для випробування. Якщо довіряти синоптикам, ці дані були абсолютно достовірні. Прогноз на ранок 16 червня був не дуже визначеним, але все ж ймовірність несприятливих для вибуху умов становила майже 90 відсотків. Упродовж цієї ночі в районі випробування відбулися грози з блискавками.

Початково випробування було призначено на 4-ту годину ранку, та через погоду багато учених наполягали на тому, щоб перенести терміни випробування. Перенесення випробування могло б призвести, однак, до порушення роботи складних механізмів вибухового пристрою. Добре, що не дали себе переконати. Ми вперто чекали сприятливої погоди всю ніч. Вимушене перенесення строку становило лише півтори години. Вибух було призначено за півгодини до сходу сонця.

Через погану погоду два літаки-спостерігачі не змогли вчасно злетіти з аеродрому в Альбукерці. Коли ж вони піднялись у повітря, то гроза і хмарність завадили їм наблизитися до місця випробування. Це завадило здійснити потрібні спостереження з повітря, хоча екіпажі літаків бачили вибух.

Попри цю часткову невдачу, ми можемо очікувати, що літаки спостереження під час бойової операції не піддаватимуться серйозному ризику, хоча абсолютної впевненості в цьому немає.

Перед 11-ю ранку в Альбукеркському відділенні Асошіейтед Прес почали надходити відомості й враження від спостережень. Після цього я наказав командирові авіабази в Аламогордо передати пресі офіційне повідомлення про вибух. За допомогою управління цензури нам удалось задовольнити пресу цим офіційним повідомленням та



деякими замітками в місцевих газетах, де йшлося про враження людей, які не мали стосунку до випробування. В одній з них писали, зокрема, що сліпа жінка бачила світло в момент випробування.

Бригадний генерал Т. Фарелл перебував у бліндажі, де був розташований пункт керування, на 9 км на південь від місця вибуху. Він зазначав: "Ситуація на пункті керування була напружена. Всередині й зовні бліндажу було майже 20 осіб, які займалися останніми приготуваннями до вибуху. Серед них був доктор Оппенгаймер, директор лабораторії, головний науковий керівник усіх робіт з перетворення урану в атомну зброю, доктор Кістяківський, який розробляв спеціальну вибухову речовину для механізму бомби, доктор Бейнбридж, який готував випробування, доктор Габбард, метеоролог та інші. Крім них, на пункті було ще декілька солдат, два чи три армійські офіцери та один морський офіцер. Усі приміщення бліндажу було заставлено різними приладами й радіоапаратурою.

В останні, особливо напружені дві години перед випробуванням, генерал Гровс був поряд із Оппенгаймером, прогулюючись із ним, він заспокоював перенапружені нерви науковця. Щоразу, коли Оппенгаймер нервувався з приводу якої-небудь неполадки, Гровс відводив його в бік і, гуляючи з ним під дощем, переконував, що все буде гаразд. За 20 хвилин до моменту "нуль" генерал Гровс відбув на свій спостережний пункт до табору бази, оскільки, по-перше, звідти краще було видно і, по-друге, через нашу домовленість – бути в небезпечний момент у різних місцях.

Відразу після того, як він поїхав, по радіо передавали відлік часу, який залишався до вибуху. Цей відлік передавали усім групам, які брали участь у спостереженні за вибухом. Коли проміжки між відліками стали менші й перейшли від хвилин до секунд, нервово напруження людей досягло межі. Кожному, хто перебував у бліндажі, були відомі жахливі наслідки, приховані в події, яка ось-ось мала відбутися.

Учені, впевнені в правильності своїх розрахунків, не сумнівались, що бомба зірветься, та все одно в кожного з нас закрадалися сумніви. Почуття більшості з присутніх можна було б найкраще висловити словами молитви: "Боже, вірую, допоможи, Боже, здолати мою недовіру!"

Ми вступали в невідоме і не знали, що нас чекає. Можна з впевненістю сказати, що майже всі: християни, євреї та атеїсти – цього моменту звертались до своєї віри з найвищою силою. Удача випробування означала, що багаторічна праця науковців, інженерів, працівників промисловості, військових і державних діячів не пропали даремно. У ці короткі миті у віддаленому пустинному кутку штату Нью-Мексико відбувалася остаточна перевірка гігантських зусиль багатьох тисяч людей.

Доктор Оппенгаймер, який мав величезну відповідальність за те, що відбувається, у цей останній момент став ще напруженішим. Він вчепився руками в стійку і ледве дихав. Останні секунди він дивився просто вперед. Коли диктор крикнув у мікрофон "Вибух!" і все навколо залило світло сліпучого спалаху, за яким почувся глухий рев, на його обличчі з'явився вираз глибокого полегшення. Декілька спостерігачів, які мали стежити за світловими ефектами вибуху, перебували за бліндажем, і їх збила з ніг ударна хвиля.

Напруження в бліндажі раптово зникло, і всі кинулись вітати один одного. Всі відчували, що немислиме за складністю наукове завдання розв'язане. Поділ атомного ядра вийшов із глибин наукової думки теоретиків. Цю нову силу можна використовувати для добра чи зла. Серед присутніх панував настрій, що залишок свого життя вони зобов'язані присвятити тому, щоб не допустити її використання на шкоду людству.

Емоційний українець Кістяківський (американський громадянин і професор Гарвардського університету вже впродовж багатьох років) захоплено обняв Оппенгаймера. Решта були не менше збуджені. Всі стримувані досі почуття вилились у декілька хвилин радості. Усім здавалось, що результати вибуху істотно перевищили оптимістичні сподівання науковців. Вони відчували себе свідками народження нової ери – ери атомної енергії – і відчували величезну відповідальність за розумне спрямування нових гігантських сил, звільненої вперше в історії людства.

Було зрозуміло: незалежно від усього, що може ще трапитися, ми володіємо засобом, який забезпечить швидку перемогу і спасіння тисяч життів наших співгромадян. Перед майбутнім наше відкриття виглядало для нас незрівнянно більшим і важливішим від усіх попередніх досягнень науки.



Безпосередні враження від вибуху можна схарактеризувати такими словами, як безпрецедентні, величаві, чудові й страшні. Ніколи раніше людина своїми силами не викликала могутнішого явища. Для опису світлових ефектів не вистачало слів. Вся місцевість навколо була залита різким світлом, яскравість якого була в багато разів більша від яскравості сонця. Воно мало золотавий, пурпурний, фіолетовий, сірий і блакитний відтінки. Кожний пік і міжгір'я гірського кряжу, який був розташований неподалік, було видно з такою виразністю і пишністю, яку неможливо описати, а треба спостерігати.

Описати красу цієї сцени під силу лише великим поетам, які, звичайно, не бачили нічого подібного. За 30 секунд після спалаху пройшла ударна повітряна хвиля, що вдарила по людях і всіх предметах, а відразу за нею – потужний, рівний і страхітливий рев вибуху. Словами не можна передати всіх фізичних, психічних й фізіологічних вражень цього явища. Щоб їх уявити, треба було самому бути його свідком” (зі спогадів генерала Фарелла).

Розповідь про свої враження від цієї історичної ночі. Після годинного сну я встав і від першої ночі майже до п'ятої ранку був постійно з доктором Оппенгаймером.

Зрозуміло, він дуже нервував, хоча його розум, як завжди, працював чітко і швидко. Основну увагу я зосередив на тому, щоб обмежити його від поспішних, а тому помилкових порад його помічників, схвильованих майбутнім випробуванням і несприятливими погодними умовами. До 3-ої години 30 хвилин ми ухвалили рішення здійснити вибух о 5-й годині 30 хвилин. До 4-ої години дощ зупинився, але небо було ще вкрито хмарами. Наша рішучість не відкладати більше вибуху від години до години ставала дедалі твердішою. Час від часу ми з Оппенгаймером виходили з пункту керування, щоб подивитись, чи не стало небо чистішим. О 5-й годині 10 хвилин я залишив Оппенгаймера і повернувся на основний спостережний пункт, що був на віддалі 15,5 тис м від бомби. Відповідно до попередніх інструкцій я знайшов там увесь не зайнятий підготовкою персонал, який зібрався на невисокому пагорбі.

Приблизно за дві хвилини до моменту вибуху всі лягли обличчям донизу і ногами в бік вибуху. У

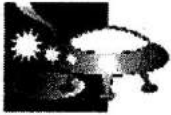
повній тиші було чути голос диктора, який передавав із пункту керування відлік часу. Далі настав спалах світла ні з чим не порівняної яскравості. Ми перевернулись, підняли голови і дивилися крізь темні скла на вогняну кулю. За 40 с нас досягла ударна хвиля і за нею звук вибуху. Порівняно з яскравістю світла сила ударної хвилі і звуку здавалась нам не дуже велика. Конент встав на ноги, і ми з ним обмінялись потиском рук, привітали один одного з успіхом. Те ж зробив і Буш, який стояв з другого боку від мене.

Настрій всієї групи був таким самим, як описав Фарелл. Мені, Бушу і Коненту стало зрозуміло, що віра в успіх керівників і ініціаторів цього гігантського заходу, зрештою, оправдалась. На віддалі 43 км від вибуху була велика група спостерігачів.

Поки генерал Фарелл очікував опівночі свого літака в аеропорту Альбукерці на віддалі майже 190 км від вибуху, він почув деякі враження місцевого персоналу від вибуху. Один службовець аеродрому розказав, що він був біля гаража, коли раптом темне небо на півдні заясніло блискучим сяйвом. Це свічення тривало декілька секунд. Інший помітив, що, якщо декілька бомб матимуть таку потужність, скинення їх на місто матиме жахливі наслідки.

Мій офіцер зв'язку на авіабазі в Аламогордо, перебував на віддалі 95 км, описував свої враження так. "Сліпучий спалах освітив всю північно-західну частину нічного неба. У центрі спалаху з'явився ніби гігантський клубок диму. Перший спалах тривав 10–15 с. Коли він згас, з'явилася гігантська куля, яка здавалась вогняною і мала вигляд сонця, яке сходить і на четвертину сховане за горизонтом. Вогняна куля існувала майже 15 с, після чого вона згасла.

Услід за нею в небі з'явився третій, уже менший за яскравістю спалах, який тривав майже 4 с, і клубок диму біло-оранжевого кольору. Під час першого спалаху місцевість була освітлена так, що можна було легко читати газету. Другий і третій спалахи мали значно меншу яскравість. Під час вибуху ми були в заскленій вежі аеродрому на висоті майже 21,5 м від землі й не відчували ніякого струсу повітряної хвилі, хоча наступного дня дізнались, що дехто чув звук і тремтіння землі”.



Ми повністю розуміємо те, що наша основна мета ще не досягнута. Тільки перевірка бомби в бойових умовах може вирішити результат війни з Японією.”

Реакція німецьких учених на атомне бомбування Японії

Шостого серпня 1945 року майор Рітнер, старший офіцер табору (маєток Фарм-Голл), в якому утримували німецьких науковців, розповів Оттові Ганові, що військово-повітряні сили США тільки що оголосили про вибух атомної бомби в Японії. Це повідомлення вразило О. Гана. Він відчував себе відповідальним за смерть багатьох тисяч людей, оскільки його праця відкрила шлях до атомної зброї. О. Ган розповів Рітнерові, що, коли він уперше усвідомив можливість свого відкриття, його переслідувала думка про самогубство і що тепер, коли це реалізовано, він вважає себе одним із головних винуватців. Тільки згодом він трохи заспокоївся.

Під час вечері новину повідомили іншим німецьким ученим, які сприйняли її з недовірою. Спалахнула гаряча дискусія.*

Ган. Ця справа надзвичайно складна. Щоб отримати 93-й елемент, вони мусять мати установку, яка працює вже тривалий час. Якщо американці справді зробили уранову бомбу, то всі ви просто посередність. Бідний Гайзенберг!

Гайзенберг. Хіба з приводу цієї атомної бомби згадувалось слово "уран"?

Ган. Ні.

Гайзенберг. Тоді атоми тут ні до чого. Все ж еквіваленту 20 тисяч тонн вибухівки – це жахливо... Наскільки я можу судити, якийсь дилетант в Америці стверджує, що така бомба має потужність 20 тисяч тонн вибухової речовини, але все це нереально.

Ган. Що б там не було, Гайзенберг, ви посередність і можете сміливо вкладати валізки.

Гайзенберг. Я повністю погоджуюсь... Це, ймовірно, бомба високого тиску, і я не можу повірити, що вона має щось спільне з ураном. Мабуть, їм вдалось знайти хемічний спосіб гігантського збільшення сили вибуху. Під час дискусії мені полестила одна фраза Гана: "Якщо їм справді вдалось зробити цю штуку, збереження цього факту в таємниці робить їм честь". Тоді вони поступово перейшли до мораль-

ного аспекту проблеми, яка стала згодом головною темою в наукових колах.

Віртц. Я тішуся, що в нас бомби не виявилось.

Вейцекер. Це жахливо, що американці зробили її. Я думаю, що це божевілья з їхнього боку.

Гайзенберг. Можна сказати й по-іншому: це найшвидший спосіб закінчити війну.

Ган. Тільки це мене і втішає.

У світлі подальших висловів особливо характерне одне зауваження Гайзенберга: "Можливостей багато, але нам невідома жодна з них. Це – факт". Всі погодилися на тому, що вони теж могли досягнути успіху, якщо б доклали потрібних зусиль. Наприкінці дискусії німці схилились до втішливого трактування подій.

Ган. Ну, я думаю ми всі погоджуємося з Гайзенбергом, що це був блеф.

Гайзенберг. Між відкриттями і винаходами – велика різниця. Відкриття завжди несподіване і тому воно викликає недовіру. Дивуватися відкриттю можуть лише люди, які не працюють у цьому напрямі. Тому для нас, хто займався тим уже п'ять років, ця історія виглядає досить дивно.

О 9-й годині усіх мешканців Фарм-Голла запросили послухати офіційне повідомлення, яке передавали по радіо. Вони були зовсім приголомшені, почувши, що перше повідомлення було таки правдою. Негайно почалася розмова про масштаби американської програми з виробництва бомби. Мою думку про здібності Гоудсмита, як слідчого підтвердив Багге, сказавши: "З'ясувалося, Гоудсміт нас обвів навколо пальця".

На німців справив величезне враження той масштаб робіт, який ми здійснили, а вони в умовах "третього райху" навіть не могли їх розпочати.

Коршінг. Це свідчить, що американці виявились здатними на координацію зусиль у гігантських масштабах. У Німеччині це було б неможливо, бо кожен намагався б усе зосередити в себе.

Гайзенберг. Мабуть, уперше серйозна фінансова підтримка стала можлива лише навесні 1942 р., після зустрічі в Руста, коли ми його переконали у своїй впевненості в успіху. Гайзенберг засмучувався про відсутність у нього (свого часу) можливостей надати німецькій атомній програмі такі ж розміри, що й роботи зі створення Фау-1 і Фау-2. Однак врешті він, здається, дійшов висновку, що провина за це переважно лежить на його групі.

*Читайте про це в книжці: Майкл Фрейн. Копенгаген/Перекл. з англ. О. А. Ровенчак і А. А. Ровенчака; за ред. І. О. Вакарчука та М. О. Зубрицької. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004.



Гайзенберг. Ми не мали морального права рекомендувати своєму урядові навесні 1942 р. витратити 120 тисяч марок лише на будівництво. І раптом несподівано прозвучала репліка Вейцекера.

– Я думаю, головна причина наших невдач у тому, що більшість фізиків із принципів міркувань не хотіла цього. Якщо б ми всі бажали перемоги Німеччині, ми, напевно досягли успіху.

– Я в це не вірю, але я все одно задоволений, що нам це не вдалось, – відповів Ган.

Нацистська партія, як розповідав того вечора Герлах, була впевнена, що вони працюють над створенням бомби. Але найцікавішою була реакція Гайзенберга. Він запитав, як нам все-таки вдалося отримати потрібні для бомби дві тонни урану-235. Ця фраза підтвердила припущення Гоудсмита: німцям і на думку не спадала конструкція бомби нашого типу. Дія нашої бомби ґрунтувалась на використанні швидких нейтронів. Німці ж вважали, що нейтрони потрібно обов'язково сповільнювати. В результаті їхні розрахунки зводились до того, щоб використати як бомбу цілий реактор, для якого треба було мати величезну кількість урану.

Ще якийсь час німці розмовляли, після чого розійшлися по спальнях. Але й там вони далі вели розмову. Запис свідчить, що єдиною людиною, яка насправді засмутилась невдачею німецьких фізиків, був Герлах. Інші, здається, були щиро раді, що, як з'ясувалося, вони займалися по суті ядерною енергетикою, а не бомбою.

Вейцекер зробив, між іншим, пророче передбачення про значення атомної зброї в міжнародних відносинах: "У росіян, напевно, немає бомби. Якщо б американці та англійці були порядними імперіалістами, вони уже завтра б скинули її на Росію. Втім вони ніколи не зроблять цього. Швидше вони зроблять з неї політичну зброю. Звичайно, це не погано. Однак мир, досягнутий таким шляхом, збережеться лише до того моменту, поки росіяни самі не зроблять бомбу. Після чого війна неминуча". Промайнула чупка, що тепер їх усіх відпустять додому. Далі була дещо запізнена реакція на пояснення їхніх невдач, яку зробив Вейцекер.

"Мені здається, – сказав Багге, – заява Вейцекера – абсурд. Звичайно, можливо, що з ним так і було, але про всіх так сказати не можна".

Наступного ранку наші "гості" жадібно накинулися на газети. Решту дня вони присвятили складанню заяви для преси, в якій намагались пояснити деякі результати, досягнуті в Німеччині в атомних дослідженнях. В остаточному варіанті там було написано: "В останніх повідомленнях преси було допущено низку неточностей у висвітленні нібито робіт зі створення атомної бомби, які проводили в Німеччині. У зв'язку з цим ми хочемо коротко схарактеризувати німецькі дослідження з уранової проблеми.

1. Поділ ядра урану, який відкрили Ган і Штрассман в Інституті кайзера Вільгельма в грудні 1938 р., – це результат суто наукових досліджень, які не мали нічого спільного з прикладними цілями. Лише після публікації повідомлень про те, що подібне відкриття майже водночас зроблено в різних країнах, з'явилась думка про можливість ланцюгової ядерної реакції та її практичного використання в атомних енергетичних установках.

2. На початку війни сформували групу учених, які працювали над практичним використанням цього відкриття. Наприкінці 1941 р. попередні дослідження показали, що атомну енергію можна використати для отримання пари а, отже, для урухомлення різних машин. З іншого боку, враховуючи технічні можливості, доступні в Німеччині, тоді не можна було створити атомної бомби. Тому подальші роботи було спрямовано на створення атомного двигуна, для чого, крім урану, з'явилась потреба у важкій воді.

3. Щоб отримувати велику кількість важкої води, було переобладнано норвезький завод у Р'юкані. Однак на початку партизани, а згодом авіація, вивели цей завод з ладу, а знову він почав працювати лише наприкінці 1943 р.

4. Водночас у Фрейбурзі проводились експерименти із удосконалення методу, який не потребує важкої води і ґрунтується на збагаченні природного урану ізотопом 235.

5. Експерименти з отримання енергії, в яких використовувався наявний запас важкої води, проводили у Берліні, а згодом – у Гайгерлоці (В'юртемберг). До кінця війни вони були готові побудувати установку для отримання енергії".

Увесь час, поки німецькі вчені були в полоні, вони й далі гадали, як нам вдалось створити атомну бомбу. Гайзенберг і деякі його колеги періодично



читали лекції. Перемога над Японією викликала в них почуття полегшення і посилила надію на швидке повернення додому.

Ми стояли перед важкою дилемою. З одного боку, навряд чи варто перевозити їх до Америки або залишати в Англії, тому що тоді вони неминуче дізнались би багато про наші роботи, але самі не могли б зробити до них істотного внеску. З іншого боку, ми зовсім не хотіли, щоб вони потрапили до рук росіян, для яких їхні знання були дуже цінні. Ми вирішили повернути їх до Західної Німеччини і створити їм такі умови, які б усували будь-яке бажання працювати на росіян. Однак розв'язання такого питання вимагало багато часу.

Приблизно тоді ж до них приходили відвідувачі. Першим з них був Дарвін, далі професор Блеккетт. Останніх, хто прийшов, щоб обговорити проблеми відродження науки в післявоєнній Німеччині. Проте під час розмови він запропонував опублікувати всі результати нашої праці. Гайзенберг одразу енергійно заперечив це, сказавши, що росіяни ніколи не погодяться встановити міжнародний контроль в цій галузі.

Я розпорядився організувати обмін листами між німецькими ученими та їхніми сім'ями, оскільки з мого погляду, це мало приємно вплинути на їхній моральний стан. Було цікаво дивитися, як вони ще ставились до себе як "панівної раси", анітрохи несумніваючись, що використання урану – це монополія Німеччини. Та, звичайно, найбільше їх гризла думка, що іншим вдалось здійснити те, чого вони так добивалися, але марно.

Гайзенберг. І все ж, як же вони цього досягли? Я вважаю соромом для нас, які працювали над тим самим, не зрозуміти, як їм це вдалось.

Після візиту Блеккетта деякі німецькі професори, зокрема Вейцекер, зацікавились проблемою впливу атомної енергії на міжнародні відносини.

Вейцекер. Останнім часом у світі помітні деякі нові віяння. Назвімо їх умовно "інтернаціоналізмом". В Америці та Англії з'явилося немало прихильників нової течії. Я, правда, зовсім не впевнений, чи приносять вони тим користь своїм країнам. Однак нам ліпше долучитися до них і підтримувати їх. Ці люди, впевнені в потребі розсекречення атомної бомби, нам дуже корисні.

Другого жовтня Гайзенберг, Ган і Лауе зустрілися в Лондоні з англійськими науковцями, щоб

обговорити своє повернення до Німеччини. Їм дали зрозуміти, що проживати вони будуть тільки в американській чи англійській зоні. Вони відповіли, що в цьому разі можливі ускладнення, оскільки для плідної роботи їм потрібні наукові лабораторії, яких у цих зонах, по-перше, було достатньо, а по-друге, вони не відрізнялися високим класом. З іншого боку, ми нашттовхнулись на опір маршала Монтгомери, який відмовився прийняти в британську зону окупації хоча б одного німецького ученого на тих умовах, які ми висували. Ці умови, з одного боку, припускали ліквідацію всяких обмежень у межах зони, з іншого – гарантію від викрадення. Монтгомері твердо і, здається, переконливо доводив, що кожного, кого йому доручать охороняти, мусять строго обмежити і взяти під пильне спостереження. Переговори затягнулися, а німці від того впали в депресію. Ще деякий час вони мали пропозицію звільнити їх під чесне слово, потім їх охопило почуття повного розчарування.

Гайзенберг. Я думаю, розмови з капітаном просто даремні. Він нас вислухає і передасть зміст розмови своєму командирові, роблячи деякі скорочення. Вони трохи порозмовляли, обмінюючись жalem з приводу участі в настільки неприємній справі. На цьому все й закінчилося, тому що командир не передає цих розмов вище. У ліпшому разі він повідомляє про них полковникові або генералові в Лондоні. До Америки ж, де власне і мали б ухвалити рішення, нічого не дійде. Можливо, доктор Гайзенберг втішиться, коли дізнається, що його слова, адресовані капітанові, дуже швидко доходили до мене, і я вживав усіх заходів для його негайного звільнення, як тільки в його затриманні більше не буде потреби.

Із газет 16 листопада німцям стало відомо про нагородження Нобелівською премією О. Гана. Група дуже хвилювалася. Всі вони дуже нервували, не одержавши негайного підтвердження цього факту. Коли ж воно нарешті надійшло, Гану запропонували відповісти, що він прийме нагороду, але прибути особисто на церемонію вручення не може. А 22 грудня 1945 р. німецьких учених повідомили про повернення до Німеччини. До того часу нам вдалось організувати лабораторії для ядерних досліджень в американській та англійській окупаційних зонах Німеччини."

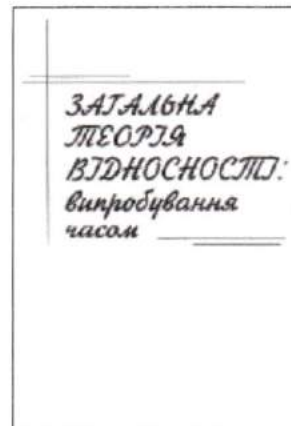
Яцків Я. С., Александров О. М., Вавілова І. Б. та ін. Загальна теорія відносності: випробування часом. – Київ: ГАО НАН України, 2005. – 288 с.

У монографії стисло викладено теоретичні основи загальної теорії відносності (ЗТВ), систематизовано її експериментальні перевірки за окреслені області застосування ЗТВ із урахуванням результатів останнього десятиріччя. Коротко розглянуто історію розвитку релятивістських досліджень в Україні.

Для науковців, аспірантів та студентів природничих спеціальностей, а також для всіх, хто цікавиться загальною теорією відносності.

*"Світ складається з таємниць,
які не можна відкрити в один день:
природа не показує нам їх усіх разом...
Наш час пояснив деякі з цих таємниць
і майбутнє продовжуватиме нашу справу"*

Луцій Сенека



Лукіянець Б. А., Бордун І. М., Рибак О. В., Горіна О. М., Хром'як Й. Я. Якісні задачі з фізики. – Львів: Ліга-Прес, 2005. – 128 с.



У навчальному посібнику подано 850 якісних задач з усіх розділів фізики. Хоча посібник адресований студентам вищих навчальних закладів, багато задач будуть цікавими і корисними для вчителів, старшокласників ліцеїв, фізико-математичних шкіл, абітурієнтів

*"Під час вивчення наук
прикладні корисніші від правил"*

І. НЬЮТОН

"Коли йдеться про якісні задачі, то це означає, що наголос зроблено не стільки на технічних елементах розв'язку задач (хоч і вона в них присутня), скільки на суті явищ, їхніх виявів, причин появи. Деколи така задача має неоднозначну відповідь, що може бути наслідком ступеня наближень, у рамках яких застосований аналіз і розв'язок задачі. Саме з цієї причини інколи до деяких задач ми не подаємо відповідей. Безсумнівна користь від якісних задач та, що вони примушують думати, а, отже, глибше розуміти явища Природи" (авт.)

Приймасмо замовлення на книжки

та журнал „Світ фізики”

за адресою:

видавництво „Свросвіт”,
м. Львів, 79005, а/с 6700
phworld@franko.lviv.ua

Свросвіт



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



А. Г. Петрицький (1895–1964)

Різдвяний ранок. Ескіз до мультфільму «Ніч перед Різдвом». 1951

Папір, акварель, гуаш.

Анатолій Петрицький, працюючи над оформленням театральних вистав і опер за сюжетами творів М. Гоголя, завжди вносив у свою роботу чи то героїчні мотиви, чи то високу поезію й обов'язково – непідробний народний гумор. Це виявилось і в циклі його ескізів до мультфільму «Ніч перед Різдвом», виконаних на замовлення московської кіностудії. Фактично завдяки внесеній в ескізи сюжетної змістовності та живописній повнокровності, а також реалістичній правдивості у відтворенні мотиву кожна робота стала цілком закінченим твором станкового живопису. Художник вклав у них свою високу майстерність, гостру спостережливість і знання життя й побуту українського народу.

Високою поетичністю сповнений один із найкращих творів серії «Різдвяний ранок». Він увесь напоєний незайманою чистотою зимового ранку. Холодна блакить пухнастого снігу, що обсипав дахи церкви і стріхи хат, віти струнких тополь і встелив землю, надає особливій звучності небу, теплим спалахам одягу і гарячому палахкотінню свічок, що їх видно через портал. На церковному подвір'ї із вправністю талановитого майстра-композитора художник розмістив групи дівчат, парубків, літніх чоловіків і жінок. Нічні незвичайні пригоди щасливо закінчилися, голова поважно повертається від заутрені, ніби нічого й не сталося, але услід йому розквітають веселі усмішки молоді, що була свідком і учасником цих пригод. Поетичні, високохудожні образи М. Гоголя дали поштовх для створення роботи, яка переростає рамки звичайної інтерпретації літературного мотиву, зберігаючи, однак, звабливість неповторної чарівливості.

Марки, випущені до Міжнародного року фізики

