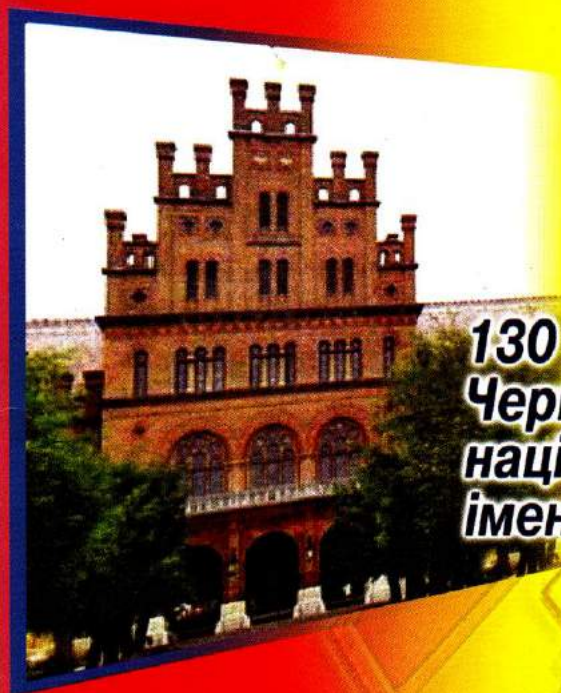


С В І Т

ФІЗИКИ

№2
2005

науково-популярний журнал



130 років
Чернівецькому
національному університетові
імені Юрія Федьковича

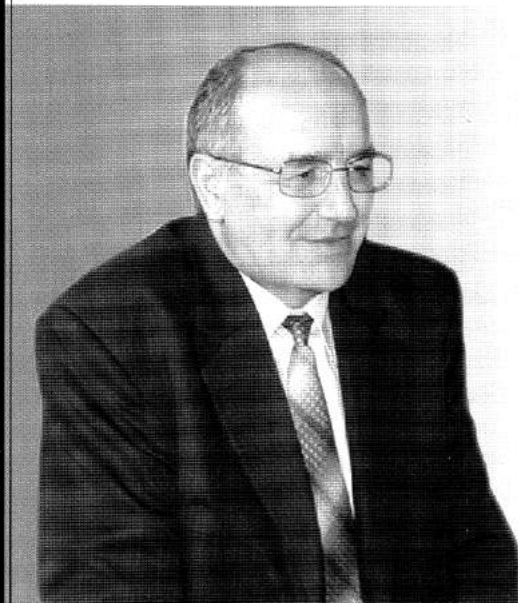
2005 рік
оголошено
роком фізики



ЧЕРНІВЕЦЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТОВІ ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

130 років

ІНТЕРВ'Ю З РЕКТОРОМ



*Ректор Чернівецького
національного університету
імені Юрія Федьковича
професор Степан Мельничук*

Кор.: Високоповажний Пане Ректоре, вітаю Вас від імені читачів журналу "Світ фізики" на новій посаді керівника Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, який відомий не лише в Україні, а й в Європі. Як Ви вважаєте, чи відбуваються зміни в освіті, зокрема, в розвитку фундаментальних наук, у вивченні фізики, у зацікавленні суспільства фізикою?

Степан Мельничук: Мені хотілося б, щоб зміни динамічніші. Я думаю, що технологічні, фізичні, комп'ютерні науки мають заповнити український ринок. Саме в цьому напрямі Україна має розвиватись. Для цього маємо всі підстави: є університети, фахівці, освічені люди. Треба лише удосконалити систему організації суспільства.

Кор.: Ви керуєте Університетом. Це окрема одиниця. Чи можливо в окремому університеті здійснити зміни. Що треба зробити, щоб до університету, а саме на фізичні факультети, йшли навчатися здібні школярі, а згодом займались науковою роботою?

Степан Мельничук: Такі зміни відбуваються. Наприклад, декілька років тому ми мали проблему набору викладачів для навчання студентів на кафедрі комп'ютерних системних мереж. А сьогодні – це вже колектив фахівців, перед якими стоїть завдання постійно підвищувати свій науковий рівень. Молодь уже розуміє що є що. Щороку в університеті захищають дисертації майже п'ятнадцять осіб. Майже всі вони залишаються працювати в університеті. Якщо раніше багато виїжджало з країни, то нині це не так. Викладачі нашого університету, які досягли пенсійного віку, переходять працювати на половину чи менше окладу, а на їхню посаду приходять молоді. Досвід старших та енергія молодих гармонійно поєднуються.

Кор.: Скажіть, будь ласка, чи співпрацюєте Ви зі школою, учителями, батьками? Яка система вступу до Вашого Університету.

Степан Мельничук: Це насамперед наша проблема. І, звичайно, проблема школи. Ми відкрили факультет доуніверситетської підготовки. І досвід показує, що ті студенти, які пройшли курс доуніверситетської підготовки, мають кращі знання, ніж ті, які прийшли зі школи. Тобто за школу допрацьовуємо ми.

(Продовження читайте на стор. 31)

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

2(30)'2005

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

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопя

Редакційна колегія:

Олекса Біланюк

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Юрій Ранюк

Йосип Стахіра

Роман Федорів

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

“... Треба нам знати,
... і небо, місяць і сонце,
й земля і моря,
і всі речі навколо
Не одинокі, а їх навіть більше,
ніж можна злічити.

Початки речей...

Від безконечних віків

безмежною силою гнані,

Власній покірній вазі,

у безвісті носяться вічно

В різних сполученнях поміж собою

і в різному гарті,

Що тільки можуть вони породити в

перехресних дорогах –

Те і трапляється тут,

що вони у цих мандрах одвічних,

Безліч пройшовши сполук,

у стиканнях і різному русі.

Сходяться зрештою так,

що в сукупності їхній взаємній

Часто великих речей

є початком:

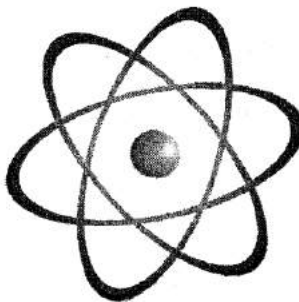
Моря, землі, і небес,

і різної тварі живої”

Лукрецій

(1 ст. до Р. Х.)

*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

Шопа Галина. Частинки та античастинки

2. Інформація

“Льодові” нанотрубки за кімнатної температури

3. Фізика світу

Щаслива доля науковця (до 75-річчя від дня народження Жореса Алфьорова)

4. Олімпіади, турніри...

Умови завдань XLII Всеукраїнської олімпіади з фізики 2005 р.

5. Нобелівські лавреати

У пам'ять дослідника зір (Ганс Бете)

6. Фізика для наймолодших

Старощук Валерій. Досліди Мудрагеліка. Заняття 5. Мудрагелік вчиться керувати погодою

7. Інформація

Електрон обертається навколо ядра як планета навколо Сонця

8. Університети світу

Чернівецькому національному університетові імені Юрія Федьковича – 130 років

9. Реальність і фантастика

Гровс Леслі. Ок-Рідж

10. Гумор

3

14

16

19

23

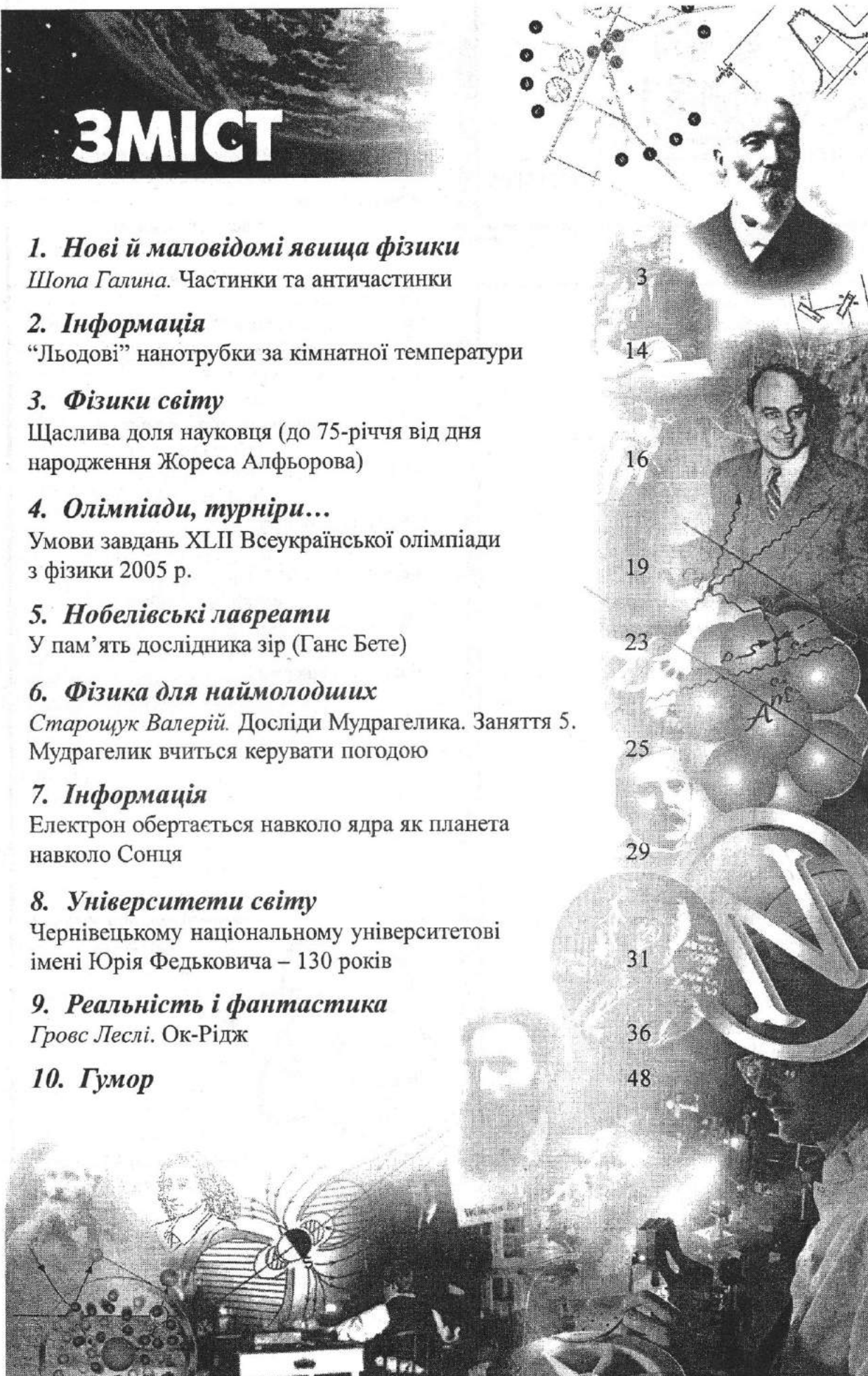
25

29

31

36

48





Частинки та античастинки

Галина Шопа

Львівський національний університет імені Івана Франка

Атоми всіх відомих хемічних елементів складаються з таких частинок: протонів, нейтронів і електронів. Однак у процесах ядерних перетворень можуть народжуватись нові частинки: позитрони, нейтрино, антинейтрино тощо.

Ще на початку 1920 року Нобелівський лауреат з фізики Лавренс Брегг (1890–1971) зазначив, що “не вважає, що електрон такий простий, як нам видається”. Електрон має бути водночас і дзигою, яка обертається (хоча незвичайною, бо механічний момент одержує певні “квантові” значення), і маленьким магнетом певної енергії. Будь-який електричний заряд, що обертається, якщо це не є геометрична точка, буде володіти магнетними властивостями. Повний заряд електрона, його розподіл у просторі та швидкість обертання пов’язані з величиною магнетного момента електрона. Цей взаємозв’язок, хоча й дуже складний, був першою ознакою, що існує деяка внутрішня структура атома.



Поль Адрієн Моріс Дірак (08.08.1902–20.10.1984)

Існування позитронів теоретично передбачив англійський фізик Поль Дірак (1902–1984) ще 1928 року, а за чотири роки їх виявили експериментально. П. Дірак передбачав, що фотони з енергією, яка перевищує 1,02 MeV, поблизу атомних ядер можуть перетворитися на пару частинок: звичайний електрон і другу частинку, яка відрізняється від електрона лише знаком електричного заряду.

Теорія електрона Дірака чудово відтворювала властивості електронів, які спостерігали експериментально, але була не повною. Із неї випливало, що електрони мають існувати не лише у своєму звичайному вигляді з від’ємним зарядом, а й у станах, які можна схарактеризувати як стани з “від’ємною енергією” або з “додатним зарядом”. Було важко зрозуміти, що таке “від’ємна енергія” з фізичного погляду, а відомі тоді позитивно заряджені частинки були лише протони, які майже у 200 разів важчі від електронів. До того ж, теорія передбачала, що додатньо заряджені частинки впродовж кінцевого проміжку часу мають анігілювати з від’ємно зарядженими електронами. Отже, мала б зникнути речовина, з якої побудована сама лабораторія, чи ті ж фізики.

Американський фізик Роберт Міллікен (1868–1953), який працював у Каліфорнійському технологічному інституті, у 1920-х роках почав досліджувати космічні промені, що були сукупністю частинок і хвиль, які падали на Землю. Перші космічні промені, як вважали в 1930-х роках, склалися з g-квантів дуже високої енергії, які у верхніх шарах атмосфери могли породжувати “зливу” (почергові спалахи) електронів з дуже високою енергією.

Античастинки американський фізик Карл Андерсон (1905–1991) знайшов у космічних променях 1932 року. Їх назвали *позитронами*. Незадовго підтвердилось явище перетворення γ -квантів на пару частинок: електрон і позитрон, яке передбачив П. Дірак.



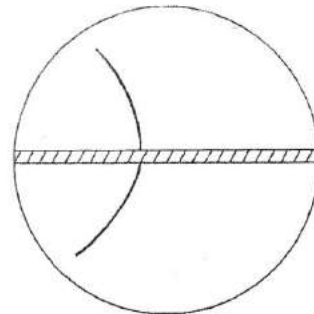
Карл Андерсон (03.09.1905–11.01.1991)

Наукова фізична громадськість 2005 року відзначає 100-річний ювілей від дня народження Нобелівського лавреата К. Андерсона. Він розпочав аспірантські дослідження під керівництвом Р. Міллікена, і 1930 року успішно захистив докторську дисертацію про просторовий розподіл електронів, які вибиваються з молекул газу рентгенівськими променями. Згодом К. Андерсон став науковим співпрацівником Р. Міллікена і за його порадою зайнявся вивченням космічного випромінювання. За рік Р. Міллікен доручив К. Андерсону керувати проектом з ідентифікації та вимірювання енергії різних типів космічного випромінювання. Вони удосконалили конденсаційну камеру, яку використовували для виявлення заряджених частинок. Конденсаційна камера – це посудина, наповнена, зазвичай, повітрям, яке перенасичене водяною парою. Д. В. Скобельцин запропонував помістити камеру в магнетному полі. Камеру помістили між полюсами електромагнета. Коли заряджені частинки проходять крізь камеру, вони йонізують на своєму шляху молекули газу, а останні відіграють роль центрів конденсації водяної пари. Воно викривлює траєкторії частинок різних знаків у протилежні боки. За кривиною сліду та його густиною визначають величину заряду, масу та енергію частинок. Народжена в камері Вільсона електрон-позитронна пара залишає два сліди, які виходять із однієї точки і викривлені в протилежні боки.

Вивчаючи тисячі фотографій конденсаційних треків, що залишили високоенергетичні частинки, які летіли з позаземного простору, К. Андерсон

помітив декілька слідів, які відрізнялися від слідів електронів лише одним: вони відхилялись у протилежному напрямку. Інші дослідники теж помічали час до часу подібні сліди, але, оскільки, теоретичне обґрунтування для існування додатньо зарядженої подібної на електрон частинки було відсутнє, вони вважали їх похибкою експерименту.

Однак 1928 року П. Дірак передбачив існування античастинок – частинок, ідентичних з відомими, але з протилежним електричним зарядом. Спочатку фізики скептично поставились до цього передбачення, та й К. Андерсон не шукав античастинок доти, доки не помітив дивних треків. Відкриття, за яке він одержав Нобелівську премію, говорив він згодом, відбулось випадково. Однак він не пройшов повз дивний факт, а доклав чимало зусиль, щоб з'ясувати, чим є ці треки. Проаналізувавши всі можливі пояснення, К. Андерсон зробив висновок, що його спостереження можна пояснити, лише признавши існування додатньо зарядженої частинки з масою, що дорівнює масі електрона. У вересні 1932 року він оголосив про відкриття частинки, яку назвав позитроном.



Трек позитрона, який одержав Карл Андерсон у камері Вільсона

Відкриття Андерсона підтвердило існування антиматерії та привело до інтенсивних досліджень взаємодій матерії з антиматерією. К. Андерсон й інші дослідники з'ясували, що, якщо електрон зустрічається з позитроном, обидва анігілюють, породжуючи γ -кванти. І навпаки, якщо γ -промені дуже високої енергії зупинити, то вони зникають, залишаючи замість себе електрон-позитронні пари. Це стало виразним підтвердженням еквівалентності маси та енергії, вираженої формулою Айнштейна ($E = mc^2$). Інші античастинки (антипротони та антинейтрони) знайшли у



1950-х роках, але задовго до того фізики вже були переконані, що кожній елементарній частинці відповідає своя античастинка. Античастинки, які реєструють на Землі, зазвичай, утворюються з γ -променів, і вони швидко анігілюють під час взаємодії зі звичайними частинками. Однак фізики вважають, що десь у Всесвіті можуть бути галактики, які створені з антиречовини, у якій атоми складаються з антипротонів і позитронів.

Із законів збереження енергії та імпульса випливає, що народження електрона і позитрона γ -квантом у вакуумі неможливо. Справді, фотон завжди рухається зі швидкістю світла, а його імпульс p однозначно зв'язаний з енергією ε так, що $p = \varepsilon/c$. Сумарна внутрішня енергія електрона і позитрона дорівнює 1,02 МеВ. Тому фотон з енергією $\varepsilon_0 = 1,02$ МеВ міг би створити лише електрон і позитрон, які переуювать у стані спокою. Це однак суперечить законові збереження імпульса, за яким народжені частинки мають рухатися із сумарним імпульсом, що дорівнює імпульсу $p = \varepsilon_0/c$ зниклого фотона. Фотон з енергією, яка перевищує ε_0 у вільному просторі (тобто за відсутності інших частинок) також не може перетворитись на електрон і позитрон.

Процес народження одним фотоном електрона і позитрона можливий лише за наявності побічної частинки, наприклад, ядра чи електрона. У цьому випадку можуть одночасно виконуватись закони збереження енергії та імпульсу, оскільки залишковий імпульс і частинка енергії фотона перейде до ядра (або електрона). Поблизу ядра майже вся енергія фотона передається електрон-позитронній парі, оскільки через велику масу ядро одержує тільки 10^{-3} – 10^{-5} долі енергії фотона. Якщо електрон-позитронна пара утвориться фотоном поблизу електрона, то електрон, який присутній під час народження цієї пари, одержить при віддачі половину енергії фотона. Тому, якщо для утворення електрон-позитронної пари поблизу ядра потрібні фотони з енергією, яка більша або дорівнює 1,02 МеВ, то для утворення її поблизу електрона потрібно вдвічі більшої енергії.

Ймовірність утворення фотонів електрон-позитронної пари пропорціональна до квадрата заряду ядра, поблизу якого проходить цей процес. Тому, якщо на камеру Вільсона помістити тонку свинцеву пластинку (заряд ядер – 82), то елект-

рон-позитронні пари вилітатимуть з цієї пластинки. Вони можуть також утворюватись під час зіткнень двох заряджених частинок, або двох фотонів, які володіють достатньою енергією. Однак



Роберт Е. Міллікен (22.03.1868–19.12.1953)

ці процеси відіграють незначну роль, порівняно з процесами утворення пар одним фотоном у полі ядер атомів.

П. Дірак довів, що поряд з процесами перетворення фотона на електрон-позитронну пару, можливий і зворотний процес – перетворення електрон-позитронної пари на фотон, що називають анігіляцією (знищенням) пари частинок. Якщо електрон і позитрон вільні (немає третьої частинки, наприклад, ядра), то зіткнувшись, вони не можуть перетворитись на один фотон – з тих же причин, через які з одного фотона не може утворитися вільна (не в полі ядра чи електрона) електрон-позитронна пара.

Якщо спіни електрона і позитрона антипаралельні, то під час зіткнень вони можуть перетворюватись на парну кількість фотонів. Найімовірніше перетворення пари на два фотони. Під час анігіляції пари два народжені фотони розлітаються у протилежні боки з однаковими енергіями. Загальна енергія фотонів дорівнює сумі внутрішньої енергії електрона і позитрона та енергії їхнього відносного руху.

Якщо спіни електрона й позитрона паралельні, то під час зіткнень вони можуть перетворитися лише на непарну кількість фотонів. Найімовірніше утворення трьох фотонів. До того ж, утво-



рення трьох фотонів становить лише одну тисячну від ймовірності утворення двох фотонів. Отже, процес анігіляції ефективний лише під час зіткнень електрона з позитроном, який має проти-лежну орієнтацію спіна.

Анігіляція позитрона з електроном можлива й тоді, коли останній входить до складу електронної оболонки атома. У цьому випадку під час анігіляції випромінюється один фотон. Його енергія дорівнювала сумі внутрішньої енергії електрона і позитрона (1,02 MeV) та енергії руху позитрона стосовно до атома без енергії, яка потрібна для відриву електрона з відповідною електронною оболонкою. Найімовірніша однофотонна анігіляція позитрона з електроном *K*-оболонки атомів з великим зарядом ядра. Але і в цьому найсприятливішому випадку ймовірність однофотонної анігіляції становить менше від 20% ймовірності двофотонної анігіляції позитронів на зовнішніх майже вільних електронах атома. Слід взяти до уваги, що повільний позитрон не може проникати у внутрішні шари атома через відштовхування від позитивно зарядженого ядра. Отже, повільний позитрон може анігілювати лише із зовнішніми електронами атома.

Переважна більшість позитронів анігілює в речовині, попередньо сповільнившись майже до повної зупинки. Час життя позитрона до анігіляції залежить від його швидкості, густини речовини й заряду ядер атомів речовини і в середньому становить майже 10^{-8} с. За цей час позитрон може пролетіти в речовині навіть декілька сантиметрів. Малий час життя позитрона зумовлений тим, що всі тіла на Землі складаються з атомів, до складу яких завжди входять електрони. У вільному просторі позитрон також стабільний, як і електрон.

Щоб усунути анігіляцію позитронів з електронами в земних умовах, треба їх ізолювати від атомів речовини. Це завдання було частково розв'язане через створення спеціальних пристроїв, які назвали накопичувальними кільцями.

Електрон і позитрон мають однакові маси й спіни, і відрізняються один від одного лише знаком електричного заряду. Вони народжуються (за рахунок фотонів) і зникають (перетворюються на фотони) лише разом. Щоб наголосити цю особливість електрон-позитронної пари, кажуть, що перша з них – частинка, а друга – античастинка.

Зазвичай електрон називають частинкою і позначають літерою e^- , а позитрон – античастинкою, яку позначають тією ж літерою, що й електрон, зі знаком “тильда”, тобто \tilde{e}^- . Часто для позитрона використовують e^+ .

До відкриття позитрона та явищ народження й анігіляції електрон-позитронних пар закон збереження електричного заряду пов'язували з незмінністю носіїв заряду – електронів і протонів. Вважали, що заряди можуть тільки переміщатися у просторі. Процеси народження та анігіляції електрон-позитронних пар закон збереження електричного заряду пов'язували з незмінністю носіїв заряду – електронами і протонами. Вважали, що заряди можуть лише переміщатися в просторі. Процеси народження та анігіляції електрон-позитронних пар показали, що зберігається сумарний електричний заряд системи частинок. Під час перетворення фотона в електрон-позитронну пару електричний заряд до і після перетворення дорівнює нулеві.

К. Андерсона нагородили Нобелівською премією з фізики 1936 року “за відкриття позитрона”. Під час церемонії вручення премії член Шведської королівської академії наук, звертаючись до К. Андерсона, сказав: “Використовуючи оригінальні прилади, Вам вдалось знайти одну з першопцеглинок Всесвіту – додатний електрон”. Виступаючи на церемонії вручення, К. Андерсон зазначив: “Відкриття позитрона було зовсім випадковим, хоча релятивістська теорія електрона Дірака передбачала також існування позитрона, і це було відомо майже всім фізикам. У відкритті позитрона теорія не відіграла суттєвої ролі. Метою експерименту, який привів до цього відкриття, було вимірювання енергетичного спектра вторинних електронів, які утворюються в атмосфері та інших матеріалах, завдяки випромінюванню, яке приходить з космосу”.

К. Андерсон 1933 року став асистент-професором фізики Каліфорнійського технологічного інституту, 1937 року – ад'юнкт-професором, а 1939 року – повним професором. За два роки після того, як він відкрив позитрон, йому і С. Неддермайєрові вдалось виявити ще одну нову частинку в космічних променях, з якою науковці раніше не зустрічалися. Вони ретельно збирали додаткові докази, перш ніж оголосити 1937 року про від-



криття частинки, відомої нині як *мюон*. Маса цієї частинки була майже в 200 разів більша, ніж в електрона.

Водночас із дослідженнями К. Андерсона, в Кавендишській лабораторії досліджували космічні промені англійські фізики Нобелівський лауреат Патрік Блекетт (1897–1974) і Джузеппе Оккіаліні (1907 р. н.). Вони використали удосконалену камеру Вільсона, яка була сполучена з двома лічильниками Гейгера-Мюллера. Завдяки вдалій конструкції приладу дослідники навесні 1933 року одержали декілька десятків фотографій, 3/4 з яких фіксували треки високоенергетичних частинок. Майже половина слідів належала частинкам, які мали масу електрона і позитивний заряд.

Отже, позитрон відкрили повторно. Питання про пріоритет не порушували, бо коли П. Блекетт і Дж. Оккіаліні лише почали одержувати фотографії, К. Андерсон їх досліджував уже понад тисячу. Щоб з'ясувати природу позитронів, які створювали космічні промені, П. Блекетт і Дж. Оккіаліні спірались на теоретичні уявлення Дірака, який тоді працював у Кембриджі. Вони дійшли висновку, що частина енергії космічних променів перетворюється в позитрон-електронні пари.

Експериментальне виявлення позитронів породило припущення, що античастинки мають бути в усіх інших елементарних частинках. Це



*Патрік Мейнард Стьюард Блекетт
(18.11.1897–13.07.1974)*

передбачення повністю підтвердилось. З'ясувалось, що кожній частинці можна зіставити її двійника – античастинку. Частинка та античастинка мають однакову енергію (масу) та спін. Вони відрізняються одна від одної лише знаком електричного заряду (якщо частинка заряджена). Якщо частинка тотожно збігається з античастинкою, то кажуть, що вона істинно нейтральна. Заряди всіх типів у істинно нейтральної частинки дорівнюють нулеві. Істинно нейтральною частинкою є, наприклад, квант електричного поля – фотон. Нейтрон не є істинно нейтральною частинкою. Прикладом частинки та античастинки без електричного заряду – нейтрино і антинейтрино, які виникають під час взаємних перетворення нейтрона і протона. Вони відрізняються один від одного знаком другого порядку, яку називають лептонним зарядом. Нейтринові приписують лептонний заряд, який дорівнює одиниці, антинейтрино – дорівнює мінус одиниця.

Спін нейтрино завжди направлений у бік, протилежний до імпульсу, спін антинейтрино – вздовж імпульса. Якщо спін розглядати образно як обертання частинки, то антинейтрино можна порівняти з правим гвинтом, а нейтрино – з лівим. В електрона і позитрона такого однозначного зв'язку напрямку спіна з напрямком імпульса немає, оскільки ці частинки можуть перебувати в стані спокою, тобто в стані, в якому їхній імпульс дорівнює нулеві.



Джузеппе Оккіаліні (1907 р. н.)



Відмінність нейтрино та антинейтрино виявляється також у тому, що нейтрино супроводжує позитронний розпад ядер, тобто виділяється разом із позитроном під час перетворення протона на нейтрон. Антинейтрино виділяється разом з електроном під час перетворення нейтрона на протон. Це правило легко виразити як закон збереження лептонного заряду під час радіоактивного перетворення нуклонів. Для цього досить припустити, що електрон має, крім електричного, лептонний заряд, який дорівнює одиниці. Тоді позитрон мусить мати лептонний заряд, який дорівнює -1 .

Лептонний заряд нуклонів і фотонів дорівнює нулеві. Крім лептонного заряду, який має значення $1, 0, -1$, частинкам приписують ще баріонний заряд B , який також має значення $1, 0, -1$. В електронів, позитронів, нейтрино, антинейтрино і фотонів баріонний заряд дорівнює нулеві, у нейтрона і протона – одиниці. Якщо електричний заряд системи Q виразити в одиницях заряду протона, то величина Q також буде цілочисленною для системи, яка складається з будь-яких частинок.

Електричний, баріонний і лептонний заряди належать до класу адитивних величин, тобто до таких величин, які для будь-якої системи частинок подаються сумою відповідних величин для окремих частинок. Закони збереження цих частинок є абсолютними, оскільки вони строго виконуються для всіх взаємоперетворених частинок. Уявні дві форми збереження заряду: він переміщується з одного місця в інше, або одночасно в одному місці народжується або зникає дві частинки, які мають заряди протилежного знака; заряд зникає в одному місці і того ж моменту з'являється в іншому.

Першу форму закону збереження називають локальною. За теорією відносності, дві події одночасні для всіх спостерігачів лише в тому разі, коли вони відбуваються в одному місці. Відповідно, якщо деяка величина зберігається, то вона зберігається локально. Легко переконатись, що в розглянутих процесах перетворення частинок

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu},$$

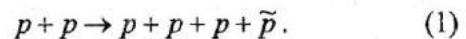
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu,$$

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$

виконуються закони збереження всіх трьох зарядів.

За квантовою теорією Дірака, протони і нейтрони також мають мати свої античастинки – антипротон \bar{p} і антинейтрон \bar{n} . Антипротон має мати від'ємний електричний, від'ємний баріонний ($B = -1$) і нульовий лептонний заряди. Значення внутрішньої енергії та спіни у протонів і антипротонів збігаються. Антинейтрон не має електричного і лептонного зарядів, але має від'ємний ($B = -1$) баріонний заряд. Величина внутрішньої енергії і спіни в нейтрона та антинейтрона збігаються. Магнетний момент нейтрона направлений у бік, протилежний до спіна.

Тривалий час пошуки антипротонів і антинейтронів були марні. Для утворення пари протон-антипротон треба затратити енергію, яка перевищує подвоєну внутрішню енергію протона, тобто перевищує $1875,6$ МеВ. Така велика енергія може виділитися, наприклад, під час зіткнень дуже швидкого протона із іншим протоном, тобто має відбутися реакція



У цій реакції зберігаються електричний, баріонний і лептонний заряди. Далі, виходячи із законів збереження, можна довести, що для здійснення реакції (1) потрібно, щоб протони, які налітають на подвійну мішень, мали кінетичну енергію, яка перевищує $5,6$ ГеВ (1 ГеВ = 10^9 еВ), із якої $1876,6$ МеВ витрачається на народження пари протон і антипротон, а решта виноситься у вигляді кінетичної енергії усіма чотирма продуктами реакції. Така велика втрата енергії зумовлена тим, що під час зіткнення швидкої частинки з частинкою, яка перебуває в стані спокою, лише частина кінетичної енергії їхнього відносного руху може перейти у внутрішню енергію утворених частинок. Небажаного перерозподілу енергії (майже $3,7$ ГеВ в реакції (1)) можна було б уникнути, якщо б протон мішені (водень) летів назустріч падаючому протоніві з тією ж швидкістю. Реакції такого типу називають реакціями на зустрічних пучках. У таких реакціях кінетична енергія частинок використовується дуже ефективно.

Перші антипротони 1955 року одержала в Берклі група науковців під керівництвом Еміліо Сегре (1905–1989) та Оуена Чемберлена (1920 р. н.), які за відкриття антипротона 1959 року одержали Нобелівську премію з фізики. Протони потрапляли



на нерухому мішень. Головна складність експерименту була пов'язана з потребою виділення рідких випадків реакцій (1) на фоні величезної кількості частинок – піонів, які інтенсивно народжувались під час зіткнень таких швидких протонів. У перших експериментах на кожний антипротон припадало 60000 піонів.

За допомогою спеціальної методики реєстрація антипротонів уже в перших експериментах вдалось зареєструвати 60 випадків реакції (1). На синхротроні в Берклі 1955 року одержали один антипротон за 15 хв. За п'ять років швидкість "виробництва" антипротонів збільшилась – десять антипротонів за 1 хв.

Протон і антипротон під час зіткнень анігілюють. Однак, на відміну від анігіляції електрон-позитронних пар, під час анігіляції протона з антипротоном на початку реакції випромінюються піони, які через подальші розпади перетворюються на фотони, електрони, позитрони, нейтрино і антинейтрино. При цьому виконуються за-



Еміліо Сегре (01.02.1905–22.04.1989)

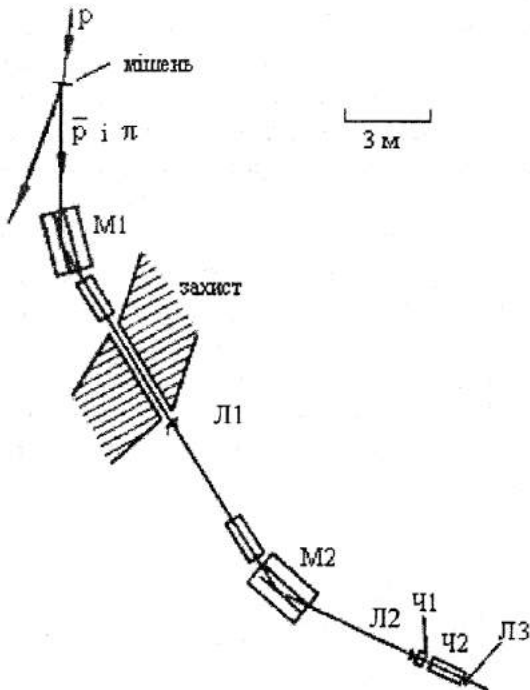


Рис. 1. Схема експериментальної установки з реєстрації антипротонів: M1, M2 – магнети; L1, L2, L3 – сцинтиляційні лічильники; Ч1, Ч2 – лічильники Черенкова

кони збереження електричного, лептонного і баріонного зарядів.

Антинейтрон вперше зареєстрували 1956 року Б. Корк (B. Cork), Г. Ламбертсон (G. Lambertson), О. Піччоні (O. Piccioni) та В. Венцель (W. A. Wenzel), проводячи експерименти з розсіяння пучка антипротонів у речовині.

У деяких випадках антипротон і протон, стикаючись, перетворюються на пару: нейтрон-антинейтрон. Цей процес називають перезарядженням. Його подають формулою

$$\bar{p} + p \rightarrow n + \bar{n} \quad (2)$$

На Землі протони і нейтрони входять до складу усіх речовин, тому утворені антипротони та антинейтрони швидко анігілюють, зустрічаючись з частинками. У вільному просторі антипротон так само стійкий як і протон. Антинейтрон перетворюється на антипротон, позитрон і нейтрино. Середній час життя антинейтрона такий самий як і середній час життя нейтрона.

Одержавши позитрон, антипротон і антинейтрино, фізики задумались над одержанням антиядра. У вільному просторі антипротон і позитрон утворюють атом антиводню, в якому ядро має



Оуен Чемберлен (10.07.1920 р. н.)

від'ємний, а легка частинка додатний заряди. Антипротон з антинейтрином можуть утворити ядро атома антидейтерію – антидейтрон. Дві незалежні групи дослідників, американська на синхротронному пришвидшувачі в Брукгевенській національній лабораторії (США), під керівництвом Леона Ледермана (1922 р. н.), та європейська на протонному синхротроні в ЦЕРНі, під керівництвом Антоніно Зікікі, 1965 року одержали вперше ядро антидейтрона (зв'язаний стан антипротона і антинейтрино). Наступного року було одержано ядро антитритію, яке містило антипротон і два антинейтрино. Група радянських фізиків під керівництвом Юрія Прокошкіна 1969 року на Серпуховському протонному пришвидшувачі вперше одержала ядро антигелію, який складався з двох антипротонів і одного антинейтрино.

П. Дірак 1933 року висунув припущення, в якому роль електронів відіграють позитрони, які входять до антиатомів. Ядра антиатомів мають складатися із антипротонів і антинейтронів. Властивості атомів і антиатомів стосовно до випромінювання і поглинання фотонів тотожні. Маса атомів і антиатомів також тотожні. Якщо у Всесвіті яка-небудь зоря або галактика складається з антиречовини, то їх можна спостерігати на Землі під час реєстрації їхнього випромінювання (видиме світло, радіохвилі тощо) як звичайні зорі галактики. Якщо зоря та антизоря наблизиться одна до одної, то на поверхні їхнього дотику розпочнеться анігіляція атомів з антиатомами і водночас

виділення енергії, що в тисячі разів перевищує енергію, типову для ядерних реакцій. Наприклад, анігіляція 1/2 г атомів речовини й антиречовини еквівалентна вибухові атомної бомби. Внаслідок анігіляції атомів у точці дотику зорі та антизорі виділилася б більша енергія, і вони б відштовхнулися одна від одної.

Досі не вдалося встановити, чи є у Всесвіті антисвіти. Атоми Сонця і планет Сонячної системи складаються з протонів, нейтронів і електронів, тобто належать до атомів речовини. Позаяк антиречовина абсолютно тотожна речовині за своїми гравітаційними властивостями і за характером випромінювання, то можливо, що у Всесвіті поряд з галактиками, які складаються з речовини, існують галактики з антиречовини. Поки що немає переконливих відомостей, які б заперечували, або ж підтверджували цю можливість.

Деякі дослідники вважають, що гіпотеза про існування антисвітів несумісна з теорією Всесвіту, який розширюється. Явище розширення видимої частини Всесвіту, або явище “розбігання галактик”, яке відкрили 1924 року американські астрономи Габбл і Гюмассон. За деякими припущеннями щодо початкових умов таке розширення Всесвіту впливає також з теоретичних розрахунків (1924) радянського фізика А. Фрідмана. Розширення Всесвіту сьогодні відбувається з такою швидкістю, що за уявного продовження цього процесу в минуле, можна дійти висновку, що 10–14 млрд років тому густина речовини центральної частини Всесвіту перевищувала густину речовини в атомних ядрах. Проте законність такої екстраполяції в далеке минуле доволі сумнівна. Деякі астрофізики висловлюють думку про те, що Всесвіт пульсує і сьогодні перебуває в стані розширення.

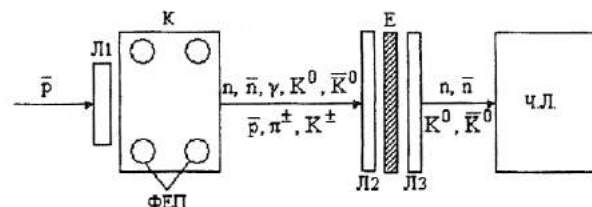


Рис. 1. Схема експериментальної установки з реєстрації антинейтронів: К – конвертор; Е – свинцевий екран; Л1, Л2, Л3 – сцинтиляційні лічильники; ЧЛ – лічильник Черенкова



У космології, тобто науці про Всесвіт, загалом, ще безліч запитань без відповідей. Потрібні нові спостереження (зокрема зі супутників і міжпланетних станцій поза атмосферою Землі), нові ідеї, теорії та гіпотези. Через те виникає зацікавлення до космологічної теорії, яку запропонував шведський фізик Оскар Кляйн.

О. Кляйн припускає, що у Всесвіті існує однакова кількість речовини й антиречовини. У початковому стані вона складалась з відносно розрідженої плазми, що містила протони, антипротони, електрони, позитрони, нейтрони, антинейтрони і фотони. Згодом під впливом флуктуацій і гравітаційної взаємодії почалось “брунькування” плазми. У цей час речовина й антиречовина розділялись внаслідок явища анігіляції, яке відбувалось на поверхні їхнього дотику. Можливість розділення можна наочно зрозуміти на відомому явищі: якщо вилити невелику кількість води на плиту, температура якої трохи вища від точки кипіння води (100 °C), то вода швидко випарується. Якщо ж температура плити вища від декількох сотень градусів, то між водою і плитою виникає тоненький прошарок пари, що ізолює основну масу води від гарячої плити. О. Кляйн вважає, що антисвіти можуть бути навіть у межах нашої Галактики. Справдиться ця гіпотеза чи ні, покажуть подальші дослідження.

Гіпотезу Кляйна уже багато років розробляють науковці разом зі шведським фізиком, Нобелівським лавреатом Ганнесом Альфвенем (1908–1995). Проте їхні уявлення про рівноправність речовини й антиречовини у Всесвіті не знаходять однодумців серед більшості фізиків і астрономів.

Останніми роками увагу фізиків приваблюють античастинки. Група німецьких та італійських дослідників під керівництвом Вальтера Елерта 1995 року зареєстрували формування дев’яти антиатомів водню. Проживши лише 40 наносекунд, антиатоми анігілювали, і засвідчити їхнє існування фізики можуть лише за слідами на кремнієвих мікросмугових лініях пі-мезонів – продуктів зіткнень антипротонів з протонами. Науковці з лабораторії Фермі (Чикаго, США) 1996 року одержали подібні результати. Вони накопили сім антиатомів водню, з’єднавши антипротони з позитронами, тобто антиелекtrонами.

Антиатоми рухались майже із швидкістю світла. Науковцям не вдалось докладно їх дослідити.

У ЦЕРНі 1997 року почали будувати антипротонний деселератор – сповільнювач цих античастинок. Пролітаючи в деселераторі, антипротони спочатку гальмуються за допомогою специфічних мікрохвильових імпульсів (так званого схоластичного охолодження), а далі паралельно з ними долучається пучок низькоенергетичних (“холодних”) електронів і за принципом теплообмінника переймають на себе частину енергії античастинок. Тривалість такого “циклу сповільнення” становить лише 1 хв. Пучок антипротонів, швидкість яких становить вже майже одну десяту від швидкості світла, скеровують на спеціальну магнетну пастку. Там антипротони охолоджуються до температури 15 градусів вище від абсолютного нуля і сповільнюються до швидкості декілька сот метрів за секунду. Далі “відморожені” антипротони надходять у вакуумну камеру і там на решті зустрічаються з позитронами, які одержані під час радіоактивного розпаду ізотопу натрію-22. Таку схему експерименту нині використовують у ЦЕРНі. Метою дослідження є одержання “великої” кількості атомів антиводню для подальших досліджень їхніх властивостей за допомогою високоточної лазерної спектроскопії. Нині синтезовано 50 тисяч антиатомів водню.

Перший пробний пучок антипротонів було сповільнено в ЦЕРНі наприкінці 1999 року, а подальші експерименти почались у червні 2000 року. Нині одержано перші результати – відкрито нові резонанси в ядрах антипротона та антигелію. Фізики, кажуть, що робота лише починається, і сподіваються, що незадовго зможуть зробити нові відкриття.

Нові дослідження з виявлення антиречовини в космічних променях проводять японські вчені разом зі своїми американськими колегами. Антиречовина – це матерія, яка складається з античастинок. 13 грудня 2004 року над Антарктидою запущено висотний аеростат з надпровідним спектрометром BESS-Polar. Дослідники сподіваються знайти докази існування “первинних” чорних дір і “баріонної симетрії” (кількість речовини і антиречовини у Всесвіті однакова).

Частинки і античастинки мають однакову масу, час життя, спін, але відрізняються знаками всіх



зарядів: електричного, баріонного, лептонного тощо. Це впливає із загальних принципів квантової теорії поля і підтверджується надійними експериментальними даними. Деякі античастинки вдалось одержати в лабораторних умовах, однак, найбільше зацікавлення є до виявлення античастинок у космічних променях. Багаточисельні варіанти теорії Великого Вибуху стверджують, що спочатку має виникнути рівна кількість матерії та антиматерії. Однак нині спостерігається явна асиметрія світу в бік “простої” матерії. Зокрема в потоці частинок, які прилітають до нас із космосу, були виявлені ядра майже всіх елементів таблиці Менделєєва, однак досі не зареєстровано антиядра. Виявлення ядер антигелію стало б вагомим аргументом на користь існування галактик, які складаються з антиречовини. Річ у тім, що ймовірність створити антигелій завдяки зіткненню протонів космічних променів із речовиною міжзоряного газу надзвичайно мала. Водночас, якщо існують антизорі, то в них антиводень має перегорати в антигелій, а далі в антивуглець. Тому пошук антигелію є однією із головних завдань BESS-Polar.

Цей експеримент проводять японські та американські науковці з Токійського університету, Університету Кобе, Інституту космічних наук і астронавтики японського Агентства космічних досліджень, НАСА та Університету штату Меріленд.

Дослідники застосовують й іншу високочутливу апаратуру для вимірювання низькоенергетичних антипротонів. Ці частинки було вперше

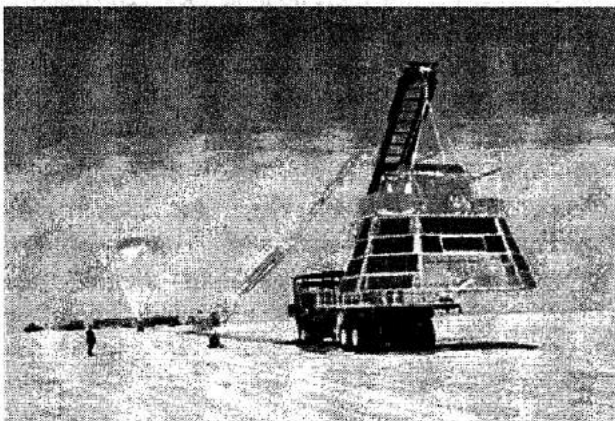


Рис. 1. Вид на аеростата BESS для досліджень

виявлено в космічних променях 1979 року. Складність їхньої реєстрації в тому, що вони набагато сильніше взаємодіють з речовиною, ніж інші, виявлені раніше античастинки. Антипротони з космосу не встигають дійти до поверхні Землі, вони анігілюють уже у верхніх шарах атмосфери. Щоб виявити антипротон у космічних променях, треба підняти детектор якнайвище в розріджені шари атмосфери. Через те, всі експерименти з пошуку античастинок у космічних променях були виконані на аеростатах. Низькоенергетичні антипротони – унікальний зонд для вивчення елементарних частинок раннього Всесвіту, оскільки вони з великою ймовірністю могли б бути створені “випаровувальними” чорними дірами в результаті процесів, які передбачив професор Кембриджського університету Стівен Гокінг, але які ще не підтверджено експериментально. Такі антипротони могли б доходити до нас від давніх (“первинних”) мікроскопічних чорних дір, можливо виниклих незадовго після Великого Вибуху. Виявлення цих антипротонів (при збіганні їх розподілу за енергіями з теоретичними передбаченнями) послужило б доказом істинності теорії Гокінга.

Ще однією метою досліджень фізиків є точні кількісні вимірювання легких елементів у космічних променях. Ці дані важливі для розуміння фізики поширення космічних променів і для оцінки їхнього внеску в атмосферні потоки нейтрино.

Аеростат підняли на висоту 39 кілометрів неподалік від американської станції Мак-Мурдо і за 8 днів він облетів на цій висоті Південний полюс. Антарктиду вибрали не випадково. “Магнетне поле Землі захищає нас від антипротонів і від космічних потоків інших частинок. Лінії магнетного поля відносять частинки до полюсів Землі, й концентрація низькоенергетичного космічного випромінювання, яке проходить крізь земну атмосферу, тут вище”, – зазначав головний дослідник Центру космічних польотів (НАСА) доктор Джон Мітчел. Від 1993 до 2002 року учасники цього проекту проводили щорічні польоти на півночі Канади. Було зареєстровано мільйони частинок космічних променів і декілька тисяч низькоенергетичних антипротонів, але для статистики і подальшого вивчення це ще дуже мало. Наступний запуск науковці планують здійснити 2007 року, також у період мінімальної сонячної активності.



Сьогодні випромінювання антиматерії є галуззю суто фундаментальних досліджень, які дають нові знання про будову і походження нашого світу. У майбутньому ці знання напевно будуть корисними і в звичайному житті. Згадаймо винайдення лазерів, які нині застосовують майже всюди.

У 1940–1950-х роках фізики синтезували деякі ізотопи, під час розпаду яких випромінюються позитрони. Згодом це відкриття використали в медицині, створивши метод позитронної томографії.

Антиматерія може стати чудовим засобом збереження енергії, адже в одному грамі антиречовини міститься величезна енергія! Дослідження та одержання антиматерії проводять фізики різних наукових центрів світу. Однак проблема в усіх сьогодні одна – недостатня кількість одержаної антиречовини.

Про це поки що пишуть фантасти. А фізики прогнозують у майбутньому цікаві дослідження незвіданого ще Всесвіту.

Читайте на цю ж тему:

1. David L. Anderson. The discovery of the electron. – Princeton, 1964. P. 158.
2. Давыдов. А. С. Атомы ядра частицы. – Киев: Наук. думка, 1971. – 216 с.
3. Біланюк О. Світ фізики, 1999, 1(5). – С. 3–7.
4. Біланюк О. Світ фізики, 2001, 4(16). – С. 3–11.
5. Р. Фейнман. Характер физических законов. – М.: Наука, 1987.
6. Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1992.
7. Шопа Г., Гальчинський О. Нобелівські лавреати з фізики. – Львів: Євровіт, 2005, 750 с.
8. Физическая Энциклопедия. www.astronet. Physic.Web.Ru.
9. Новости науки. Scientific.ru. 01.01.05.
10. Physics.com.ua.

Людській думці знадобилося всього декілька тисячоліть, щоб проникнути туди, куди світло доходить лише за сотні мільйонів років.

О. О. Михайлов

Наукова важливість відкриття В. Рентгена розкривалась поступово, і це триває досі, що підтверджено ще вісьмама Нобелівськими преміями за праці в галузі рентгенівських променів:

1914 р. – за відкриття дифракції рентгенівських променів на кристалах (*Макс фон Лауе*);

1915 р. – за дослідження структури кристалів за допомогою рентгенівських променів (батько та син *Вільям Генрі Брегг* і *Вільям Лавренс Брегг*);

1917 р. – за відкриття характеристичного рентгенівського випромінювання елементів (*Чарльз Гловер Барклі*);

1924 р. – за дослідження і відкриття в галузі рентгенівської спектроскопії (*Карл Манне Георг Сігбан*);

1927 р. – за відкриття розсіяння рентгенівських променів на вільних електронах речовини (*Артур Голлі Комптон*); за метод візуального спостереження траєкторії електрично заряджених частинок за допомогою конденсованої пари (*Чарльз Томсон Ресс Вільсон*);

1936 р. – за внесок у вивчення молекулярних структур за допомогою дифракції рентгенівських променів та електронів (*П. Дебай*);

1979 р. – за розроблення методу осьової (рентгенівської) томографії (*А. Кормак, Г. Гаунсфілд*).

2002 р. – за дослідження в галузі астрофізики, які привели до відкриття нейтрино та космічних джерел рентгенівського випромінювання (*Раймонд Девіс, Масатомі Кошиба, Рікардо Джіаконі*).

“Льодові” нанотрубки за кімнатної температури

Як свідчать дослідження японських науковців, всередині одностінних вуглецевих нанотрубок за кімнатної температури можуть існувати “льодові” нанотрубки.

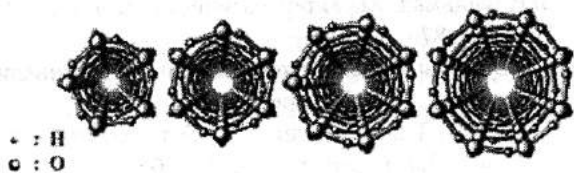


Рис. 1. Вигляд “льодових” нанотрубок

Вода обов’язково присутня в усіх живих організмах і, деколи, виявляється вода “обмежена” в дуже малому об’ємі. Наприклад, майже 20 % маси біологічних мембран (завтовшки 5–10 нм), регулювальний обмін речовин між клітинами і середовищем, а також між відсіками всередині клітин, є міцно зв’язана вода. Тому дослідження властивостей води за таких умов привертає увагу науковців. Вони очікували, що фізичні властивості води в нанооб’ємі можуть бути зовсім іншими, але вивчати їх ще донедавна було дуже складно.

Однак ситуація спростилась із появою унікальних наноконтейнерів – вуглецевих нанотрубок. Моделювання з використанням методу молекулярної динаміки дало змогу показати, що молекули води не лише можуть проникати в гідрофобні канали відкритих одностінних вуглецевих нанотрубок, які вміщені в резервуар з водою, а й рухаються по них. Всередині нанотрубки діаметром 0,8 нм і завдовжки 1,34 нм молекули води утворюють одномірно впорядковані ланцюжки з майже п’яти молекул, які пов’язані сильним водневим зв’язком. Флуктуації густини поза нанотрубною приводить до високоузгодженого, але швидкого “дрейфу” молекул води вздовж осі нанотрубки, які приводять до імпульсних викидів води. Розрив ланцюжка енергетично не вигідний і відбувається дуже рідко. Одержані результати важливі для розуміння деяких біологічних процесів, їх також можна застосовувати під час створення деяких типів сенсорів.

Згодом з’явилось повідомлення про заповнення водою (з парової фази) одностінних вуглецевих “наноріжків” за 303 К. Внутрішній простір доступний після оброблення зразків у чистому кисні за 693 К. Таке окисдування відкриває кінці наноріжків і створює “вікна” в стінках. Адсорбція водяної пари починається на активних центрах, які зумовлені функціональними кисневими групами. Далі адсорбовані молекули діють як вторинні центри, на яких ростуть кластери води доти, поки не досягають критичного розміру (п’ять молекул). Загальна сорбційна ємність пов’язана з пористою структурою одностінних вуглецевих наноріжок (внутрішнього і проміжкового простору). Можливість контрольованого заповнення одностінних вуглецевих наноріжок водою відкриває нові можливості для вивчення фазових переходів води в обмеженому гідрофобному просторі. Науковці припустили, що за дуже сильного охолодження води, обмеженого всередині нанопростору, можливе утворення аморфного льоду високої густини.

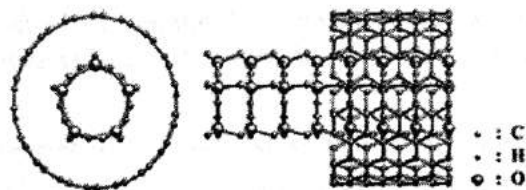


Рис. 2. “Льодова” нанотрубка всередині вуглецевої нанотрубки

Недавно японські науковці довели, що “льодові” нанотрубки всередині одностінних вуглецевих нанотрубок існують навіть за кімнатної температури і за тиску, який нижчий від атмосферного. Дані з рентгенівської дифракції одержані з використанням синхротронного випромінювання. Дослідники вивчили шість зразків нанотрубок, середні діаметри яких становили 1,17; 1,30; 1,34; 1,35; 1,38; 1,44 нм. Одностінні вуглецеві нанотрубки були запаїні в кварцеві трубки (діаметром 0,7 мм і завдовжки 20 мм) з парами води. Тиск води за температури вищої від 300 К

дорівнював тискові насиченої пари за кімнатної температури (27 торр), оскільки один кінець трубки завжди перебував за температури 300 К. Вимірювання проводили в температурному діапазоні від 90 до 360 К. З'ясувалось, що за понижених температур всередині наноріжків утворюються трубчасті структури льоду, які назвали "льодовими" нанотрубками. Їхня температура плавлення залежить від діаметра "льодових" нанотрубок. Ідентифіковано чотири упорядковані структури, які приписують полігональним "льодовим" нанотрубкам. Зокрема "льодова" нано-

трубка діаметром 1,17 нм складається з купки кільцевих структур із п'яти молекул води.

Температура плавлення льодової нанотрубки –300 К! Із зменшенням діаметра температура плавлення зростає від 190 К (восьмикутні нанотрубки) до 300 К (п'ятикутні нанотрубки) без прикладання високого тиску. Зі зменшенням діаметра здійснюється перехід від об'ємних явищ до явищ на атомному рівні. Спостерігається ще цікавіше явище – з підвищенням температури до 318 К вода миттєво випаровується з нанотрубки. Цей екзотичний ефект може мати і практичне застосування.

Апарат для термоядерного синтезу

Фізики з Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі вперше в світі побудували надзвичайно простий апарат для термоядерного синтезу кишенькових розмірів. Це справжній технологічний прорив, оскільки до цього найменший апарат для термоядерного синтезу був за величиною як мікрохвильова піч.

Нині синтез можна здійснювати в камері, величиною як долоня, що заповнена дейтерієм – важким ізотопом водню. Всередині камери вміщений кристал із піроелектричного матеріалу, з одного боку якого є гострий виступ. Під час підігрівання кристала поблизу його поверхні виникає електричне поле, напруженість якого дуже велика поблизу вістря. В результаті, атоми дейтерію поблизу вістря втрачають електрони і перетворюються на додатні йони. Ці йони пришивидшуються у прикладеному до камери електричному полі напруженістю лише 40 В.

Розігнані йони стикаються з пластинкою із дейтериду ербію, речовини, одна молекула якої містить три атоми дейтерію. У результаті таких зіткнень відбуваються зіткнення ядер дейтерію, деякі з яких приводять до реакції термоядерного синтезу. Під час цієї реакції два ядра дейтерію перетворюються на одне ядро ізотопа гелію і один нейтрон.

Новий прилад працює саме як нейтронний генератор, створюючи за секунду 900 нейтронів. Брайан Нараньо, Джим Гімзевські і Сет Путтерман, які створили цей прилад, вважають, що в модифікованому варіанті його продуктивність зросте до 1 млн нейтронів за секунду.

News.Battery.Ru

Фізик побачив модель Всесвіту в ядерному реакторі

Фізик з Массачусетського технологічного інституту хоче змодельовати розподіл галактик у Всесвіті за допомогою ядерного реактора, повідомляє "New Scientist". Нільс Бассе, який вивчає фізику плазми, випадково побачив докладну карту зоряного неба і зробив висновок, що вже стикався з подібним розподілом об'єктів у своїй галузі.

Рівняння, які описують флуктуації густини плазми в спеціальному реакторі-стеллараторі, і рівняння для густини галактик залежно від відстані до них, дуже прості й подібні. Причину цього американський фізик бачить в тому, що Всесвіт "успадкувала" структуру високотемпературної антиречовини, яка утворилася незадовго після Великого Вибуху.

Вважають, що кварк-глюонна плазма передувала появі "звичайних" елементарних частинок, які нині становлять більшу частину Всесвіту. Недавно американські фізики відтворили її в лабораторних умовах, що привело до неочікуваних результатів.

Астрофізики сприйняли висновки Н. Бассе з недовірою. Деніель Ейзенштайн із Арізонського університету стверджує, що початкова плазма проіснувала недовго, щоб флуктуації в ній суттєво вплинули на майбутню будову Всесвіту.



До 75-річчя від дня народження
Жореса Алфьорова

ЩАСЛИВА ДОЛЯ НАУКОВЦЯ

*У ХХ сторіччі фізика стала
по-справжньому елементом
загальної культури людства*

Фізична наукова громадськість 15 березня 2005 року вітала Нобелівського лавреата, видатного фізика, громадського діяча Жореса Івановича Алфьорова з 75-річчям від дня народження.

Жорес Іванович Алфьоров народився 15 березня 1930 року в м. Вітебську (колишньому СРСР, нині Республіка Біларусь). Його батько Іван Карпович пройшов від робітника до директора заводу, згодом начальника тресту, мати Анна Володимирівна працювала в бібліотеці. Старший брат Жореса Маркс загинув двадцятирічним юнаком в Україні (у м. Корсунь-Шевченківському) під час Другої світової війни.

Через роботу батька сім'я переїжджала з міста до міста. Семирічну школу Жорес закінчив на Уралі, в м. Сяєстрої. Батьки 1945 року переїхали до м. Мінська. Там 1948 року Жорес закінчив середню школу, де вчителем фізики був Я. Мельцерзон, який прищепив йому любов до фізики.

Ж. Алфьоров вступив до Ленінградського електротехнічного інституту на факультет електронної техніки, який закінчив 1952 року, одержавши фах "Електровакуумна техніка". І його, як одного з найкращих студентів, взяли на роботу до Фізико-технічного інституту ім. А. Ф. Йоффе Російської академії наук у лабораторію В. Тучкевича. Відтоді – понад 50 років він там працює:

1953–1964 рр. – молодшим науковим співробітником, 1964–1967 рр. – старшим науковим співробітником, 1967–1987 рр. – завідувачем лабораторії, з 1987 року й досі – директором Санкт-Петербурзького фізико-технічного інституту ім. А. Ф. Йоффе, з 1990 року – віце-президент, а згодом і президент Російської академії наук.

Наукові праці й дослідження Ж. Алфьорова – з галузі фізики напівпровідників, напівпровідникової й квантової електроніки, технічної фізики. Ж. Алфьоров 1961 року захистив кандидатську дисертацію, присвячену дослідженню потужних германієвих і кремнієвих діодів. Він також брав участь у створенні перших транзисторів і фотодіодів. Наприкінці 1950-х років була висунута ідея застосовувати в напівпровідникових приладах гетеропереходи, однак багаторазові спроби створити такі прилади не дали очікуваних результатів. Причина невдач полягала у складності виготовлення якісних гетероструктур. У багатьох дослідників зацікавлення цією тематикою спадало. Однак Ж. Алфьоров вірив у перспективність гетероструктур. Уже в перших працях Ж. Алфьорова була обґрунтована ідея застосування подвійної гетероструктури. У своїх технологічних дослідженнях він застосував епітаксціальні методи (нарощування гетероструктур з газової фази) і йому з колегами вдалось одержати гетероструктури, близькі за властивостями до ідеальної моделі. Для цього найкраще підходили гетероструктури потрійної сполуки $Ga_{1-x}Al_xAs$. Із зростанням x (кількості заміщених атомів) ширина забороненої зони зростає від 1,4 еВ (GaAs) до 2,1 еВ (AlAs). Це дає змогу змінювати довжину хвилі випромінювання від 0,89 до 0,59 мкм. Утворене внаслідок рекомбі-



нації носіїв заряду світлове випромінювання поширюється в усіх напрямках. Воно частково поглинається в напівпровідниковій структурі, розсіюється на межі шарів та металізованих електродах. Щоб збільшити вихід світла, світлодіоди конструюють так, щоб забезпечити направленість випромінювання, і для цього в конструкції світлодіодів застосовують відбивні металізовані поверхні та гетероструктури.

Відкривши перші “ідеальні” гетероструктури арсенід алюмінію – арсенід галію, Ж. Алфьоров з колегами зміг у 1968–1969 рр. реалізувати майже головні ідеї керування електронними і світловими потоками в гетероструктурах, що стало можливим після того, як він відкрив явище надінжекції в гетероструктурах. Він створив напівпровідникові лазери на основі подвійних гетероструктур і реалізував неперервний режим генерації за кімнатної температури. Ж. Алфьоров з колегами випередили на місяць колектив американських дослідників із фірми “Белл”.

Технологія конструювання напівпровідникових систем досягла такого рівня, що стало можливим задавати кристалові будь-які параметри, зокрема, якщо розмістити заборонені зони певним чином, то електрони провідності в напівпровідниках зможуть переміщатися лише в одній площині, так званій “квантовій площині”. Якщо розмістити заборонені зони інакше, то електрони провідності зможуть переміщатися лише в одному напрямку – це “квантова дротина”. Можна і зовсім перекрити можливості переміщення вільних електронів – одержимо “квантову точку”. Саме одержанням та дослідженням “квантових дротинок” і “квантових точок” займається нині Ж. Алфьоров.

Науковець створив перші біполярні гетеротранзистори. На основі гетероструктур 1970 року він створив перші сонячні батареї. Дослідження Ж. Алфьорова започаткували новий напрям – електроніки та оптоелектроніки гетероструктур і створили передумови для бурхливого розвитку волоконно-оптичних систем зв'язку.

Науковець 1970 року за результатами досліджень гетеропереходів захистив докторську дисертацію, а 1972 року Ж. Алфьорова обрали членом-кореспондентом, з 1979 року – він академік Академії наук СРСР.

Ж. Алфьоров від 1973 року очолює кафедру оптоелектроніки Ленінградського електротехнічного інституту (нині Санкт-Петербурзький електротехнічний університет), із 1988 року – декан фізико-технічного факультету Санкт-Петербурзького державного технічного університету.

Ж. Алфьоров у 1990-х рр. розпочав дослідження наноструктур: квантових дротинок і квантових точок. Під його керівництвом у 1993–1994 рр. було створено інжекційний лазер на квантових точках, що працює в неперервному режимі за кімнатної температури.

Ж. Алфьорова та Г. Кремера нагородили половиною Нобелівської премії з фізики 2000 року “за фундаментальні праці в галузі інформатики та комунікаційних технологій, за розвиток напівпровідникових гетероструктур, які використовують у високошвидкісній оптоелектроніці”. Другу половину премії одержав Дж. Кілбі “за фундаментальні праці в інформатиці та комунікаційній технології, за дослідження в галузі інтегральних мікросхем.”

Нині академік Ж. Алфьоров – директор Фізико-технічного інституту ім. А. Ф. Іоффе, віцепрезидент Російської академії наук, активно займається науковою і викладацькою роботою. Він тісно співпрацює з науковцями України, зокрема вже понад п'ять років є науковим керівником російсько-української науково-технічної програми “Нанофізика і наноелектроніка”, метою якої є створення елементної бази напівпровідникової електроніки. Виступаючи в Національному технічному університеті “Київський політехнічний інститут” Ж. Алфьоров, наголошуючи тісну співпрацю українських і російських науковців, сказав: “Для науковців, які мають найінтернаціональнішу професію, немає національності. Немає української фізики, російської хемії, американської біології. Є лише фізика, хемія і біологія. Варто завжди пам'ятати, що кожна країна, кожний народ робить величезний внесок у розвиток науки”... Я міг би назвати українських науковців, безумовно, нобелівського рівня, та я знаю старше покоління, а їх, на жаль, уже немає в живих”. У вересні 2003 року в Україні було зареєстровано “Російсько-українське представництво фонду підтримки і науки (Алфьоровського фонду) в Україні”.



Ж. Алфьоров є академіком РАН (1979), віцепрезидент РАН (1991), Головою Президії Санкт-Петербурзького наукового центру РАН, має понад 17 почесних звань, серед них, пожиттєвий член Франклінського інституту (США, 1971), Почесний професор Гаванського університету (1987), Почесний доктор Польської академії наук (1988), Американської національної інженерної академії (1990), Санкт-Петербурзької метрологічної академії наук (1994), Академії наук Республіки Білорусь (1995), Академії науки і технології Кореї (1995), Товариства фізики і технології напівпровідників Пакистану (1996), Оптичного товариства США (1997), Санкт-Петербурзького гуманітарного університету (1998), Інституту загальної і ядерної фізики Російського наукового центру "Курчатівський інститут" (1998), Заслужений енергетик Росії (1996). Ж. Алфьоров є іноземним членом багатьох наукових товариств і академій, серед них іноземним членом Національної академії наук України, Почесним доктором Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут" (2004).

Науковець має багато нагород, зокрема медаль Балантайна інституту Франкліна (США, 1971), Ленінську (1972) і Державну (1984) премії, Г'юллет-Паккардівською премією Європейського фізичного товариства (1972), медалью Г. Велькера (1987), премії А. П. Карпінського та А. Ф. Йоффе Російської академії наук (1996), Загальнонаціональну недержавну Демидівську премію Російської Федерації (1999), премію Кіото за передові досягнення в галузі електроніки (2001), премію "Глобальна енергія" (2005) та ін.

Премію "Глобальна енергія" вручили в Санкт-Петербурзі 10 червня 2005 року академікові Жоресу Алфьорову і німецькому професорові Клаусу Рідле з компанії "Сіменс" за "вагомий внесок у створення напівпровідникових перетворювачів енергії, які використовують у сонячній енергетиці". Цю премію заснували 2002 року в Росії. 2005 року претендентами на неї було подано 89 праць, з яких найбільше з атомної та сонячної енергетики. На премію претендували науковці 13 країн. Право висувати кандидатів на премію "Глобальна



Нобелівського лавреата з фізики Жореса Алфьорова вітають на українській землі

енергія" цього року одержали 524 фахівців з різних країн світу.

Ж. Алфьорова справедливо вважають засновником нового наукового напрямку електрофізики – створення енергетичних перетворювачів на основі гетероструктур. Цей науковий напрям став основою створення гетероструктурних світлодіодів, які нині широко використовують для перетворення електричної енергії на світлову. Праці науковців школи академіка Ж. Алфьорова дали змогу розв'язати завдання ефективного одержання електричної енергії із світловою з використанням гетероструктурних фотоперетворювачів і сонячних елементів.

Він є головним редактором журналу "Фізика і техніка напівпровідників" та "Письма в журнал технической физики".

Найвищим визнанням фундаментальних досліджень і піонерських праць академіка Ж. Алфьорова є Нобелівська премія з фізики 2000 року. Він займається і громадською роботою. Науковець був народним депутатом СРСР (1989–1992), а з 1995 року – депутат Держдуми Російської Федерації, член комітету з освіти і науки.

Ж. Алфьоров велику увагу приділяє освіті та російській школі фундаментальних досліджень. Він заснував Фонд підтримки освіти і науки. Свою Нобелівську премію науковець віддав на розвиток російської науки.

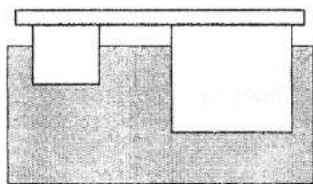
Галина Шопа

Умови задач ХЛН Всеукраїнської олімпіади з фізики Хмельницький, 2005 р.

8-й клас

Задача 1.

На двох порожніх кубиках, що плавають у воді, лежить невагома паличка (див. рис.). Розміри ребер кубиків становлять $a_1 = 0,1$ м і $a_2 = 0,2$ м. Скільки води треба налити в один із кубиків, щоб паличка лежала горизонтально? Маса кубиків $m_1 = 0,05$ кг і $m_2 = 0,1$ кг. Товщиною стінок знехтуйте. Густина води $\rho = 1 \cdot 10^3$ кг/м³.

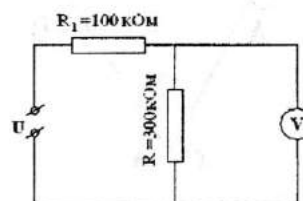


Задача 2.

Два однакові теплоізовані калориметри висотою $h = 75$ см заповнені на третину: один – льодом, другий – водою з температурою $t = 10$ °С. Воду з другого калориметра переливають у перший, і калориметр заповнено на дві третини. Після того, як температура в калориметрі встановилась, рівень його заповнення зріс на $\Delta h = 0,5$ см. Яка була початкова температура льоду в калориметрі? Густина льоду – $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³, густина води – $\rho_{\text{в}} = 1 \cdot 10^3$ кг/м³, питома теплоємність льоду – $c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), питома теплоємність води – $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), питома теплота плавлення льоду – $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Задача 3.

У схемі (див. рис.) вольтметр вимірює напругу на резисторі опором $R = 300$ кОм. Яким має бути опір вольтметра для того, щоб його покази відрізнялися від дійсного значення U_R не більше, ніж на 2%? Напругу U підтримують постійною.



Задача 4.

Першого разу в пробірку налили води з температурою t . Дно пробірки занурили у велику кількість води з температурою на Δt вищою. Вода в пробірці нагрілася до температури $t + \Delta t$ за час t_1 . Іншим разом у пробірку налили води з температурою t . Дно пробірки занурили у велику кількість води з температурою $t - \Delta t$. Вода в пробірці охолонула до температури $t - \Delta t$ за час t_2 . Яка температура вища: t_1 чи t_2 ? Вважайте, що процес теплообміну здійснюється лише через дно пробірки.

Задача 5.

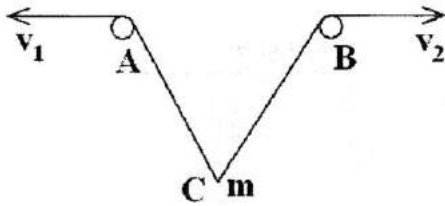
Пішохід пройшов $4/7$ вузького моста, коли він помітив автомобіля, що наближався до нього спереду і з яким він не зміг би розминутися. Та він йшов далі й дійшов до кінця моста одночасно з автомобілем. З'ясувалося, що коли б пішохід повернув назад, помітивши автомобіль, то підійшов би до початку моста також одночасно з автомобілем. Вважаючи, що пішохід і автомобіль весь час рухалися з постійною швидкістю, знайдіть відношення їхніх швидкостей.

Задачі запропонував
С. У. Гончаренко

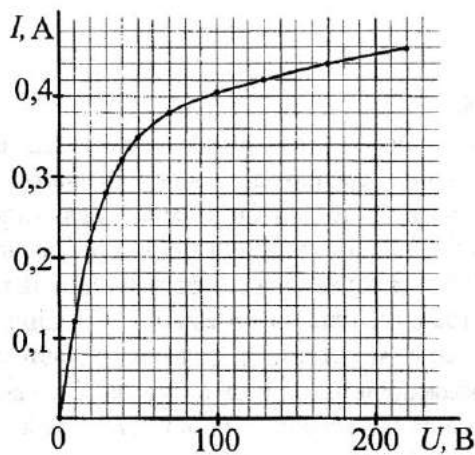
9-й клас

Задача 1.

Точкове тіло масою m підіймають за допомогою двох нерозтяжних і невагомих ниток, що перекинута через нерухомі блоки А і В (див. рис.). Кінці ниток рухаються горизонтально зі сталими швидкостями $v_1 = 3,00$ м/с та $v_2 = 6,00$ м/с. Вважаючи блоки ідеальними, знайдіть натяги ниток у положенні, коли $AC = AB = BC = 10,0$ м.


Задача 2.

Опір електричної лампочки збільшується з підвищенням температури нитки розжарювання. Залежність сили струму через нитку лампочки від прикладеної напруги зображена на рисунку. Визначте найбільший і найменший опір лампочки. Оцініть середнє значення температурного коефіцієнта опору матеріалу нитки розжарювання, якщо відомо, що при напрузі 220 В температура нитки становить 2000 °С.


Задача 3.

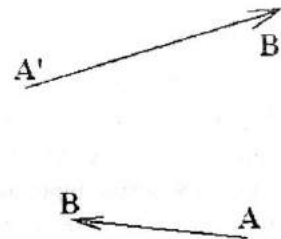
У посудині міститься дві незмішувані рідини з густинами ρ_1 і ρ_2 і товщинами шарів h_1 і h_2 , відповідно. На поверхню рідини кладуть маленьке тіло обтічної форми, яке досягає дна якраз у той момент, коли його швидкість дорівнює нулеві. Визначте густину матеріалу, з якого виготовлене тіло.

Задача 4.

У центрі днища прямокутної баржі з вертикальними бортами завдовжки $a = 80$ м, завширшки $b = 10$ м і заввишки $c = 5$ м утворився отвір з діаметром $d = 1$ см. Оцініть час, за який баржа затоне, якщо не відкачувати води. Баржа відкрита, вантажу на ній немає, початкова висота бортів над рівнем води $h = 3,75$ м.

Задача 5.

На рисунку зображено предмет AB та його зображення $A'B'$, одержане в лінзі. Визначте побудовою розміщення лінзи та її головних фокусів.



Задачі запропонували:
 А. П. Федоренко (1),
 О. Ю. Орлянський (2),
 С. У. Гончаренко (3–5)

10-й клас

Задача 1.

Автомобіль скочується з вимкненим двигуном і постійною швидкістю v із гірки, кут нахилу якої дорівнює α . Відстань між осями коліс автомобіля L , а його центр мас міститься посередині між осями на висоті h над дорогою. Вважаючи силу тертя кочення прямопропорційною до навантаження на вісь, визначте гальмівний шлях автомобіля після

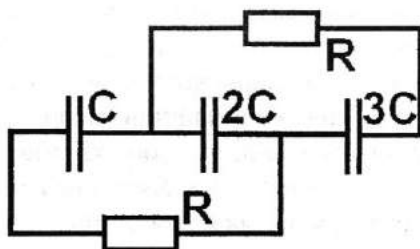
раптового гальмування з повним блокуванням задніх коліс, коефіцієнт тертя ковзання яких по дорозі дорівнює k .

Задача 2.

Стінки циркового льодового майданчика мають форму кола радіуса $r = 7$ м. Клоун-хокеїст б'є по шайбі й надає їй поступального руху в напрямку протилежній до стінки майданчика. Шайба перетинає майданчик на відстані $d_0 = 4$ м від його центра, після удару, відскакує від стінки, знову перетинає майданчик, знову відбивається, і так багато разів. Визначіть, на якій відстані d від центра майданчика проходить шайба після великої кількості відбиттів. Шайбу вважайте однорідним диском. Тертям об лід знехтуйте. Вважайте, під час удару шайби об стінку нормальна складова швидкості не змінюється за величиною.

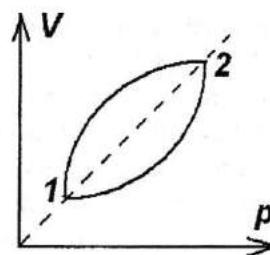
Задача 3.

Три конденсатори ємностями C , $2C$ і $3C$ з'єднані послідовно і приєднані до джерела е. р. с. $\varepsilon = 30$ В. Після зарядки конденсаторів їх відімкнули від джерела і водночас до них приєднали два резистори так, як зображено на рисунку. Яка кількість теплоти виділиться на резисторах, якщо $C = 3$ мкФ?



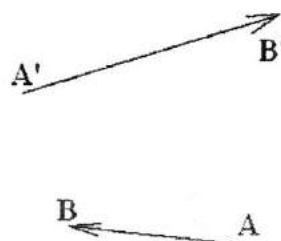
Задача 4.

Як робоче тіло в тепловій машині використовують постійну масу ідеального одноатомного газу, зміну стану якого зображено на pV -діаграмі (див. рис.). З належним вибором масштабів по осях цієї діаграми цикл зображують двома чвертями кіл, причому точки перетину дуг 1 і 2 лежать на бісектрисі кута, утвореного осями діаграми. Визначте ККД циклу, якщо відношення максимального і мінімального об'ємів газу в цьому циклі дорівнює $n = 3$.



Задача 5.

На рисунку зображено предмет AB та його зображення $A'B'$, одержане в лінзі. Визначіть побудовою розміщення лінзи та її головних фокусів.



Задачі запропонували:
В. П. Сохацький (1),
О. Ю. Орлянський (2),
С. У. Гончаренко (3–5))

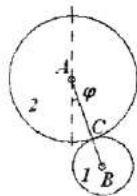
11 клас

Задача 1.

За повідомленням інформаційних агентств проти ночі в середу, 16.02.2005 р. центр керування польотами провів коригування орбіти Міжнародної космічної станції (МКС). Двигуни пристикованого до МКС космічного апарата працювали 456 с. У результаті операції орбіту станції було піднято на 3,3 км і збільшено до розрахункової висоти майже 360 км над Землею. Під час коригування орбіти екіпаж станції спав. На підставі одержаної інформації оцініть, у скільки разів штучна сила тяжіння, що виникла на станції під час роботи двигунів, була менша від сили тяжіння на поверхні Землі.

Задача 2.

Ізольована металева куля радіусом $R = 8$ см має заряд $q_1 = 1$ нКл. На відстані $d = 3R$ від поверхні кулі міститься точковий заряд $q_2 = -4$ нКл. Визначть: 1. Силу взаємодії між зарядом q_2 і кулею; 2. Відстань від центра кулі до точки A , в якій напруженість електричного поля дорівнює нулеві; 3. Потенціал φ_A поля в цій точці та форму екіпотенціальної поверхні з $\varphi = \varphi_A$ поблизу точки A ; 4. Пришвидження точкового заряду $q_3 = 3$ нКл, який помістили в точку A , в момент часу, коли його відпустили. Маса заряду q_3 дорівнює $m = 4$ мг. Вважайте, що потенціал, який створює заряд на нескінченності, дорівнює нулеві. Для малих ε ($|\varepsilon| \ll 1$) можна користуватися наближеною формулою $(1 + \varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon + (1/2)n(n-1)\varepsilon^2$.

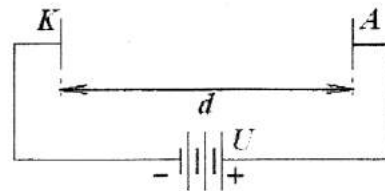

Задача 3.

Центри двох дисків сполучені стрижнем AB завдовжки l (див. рис.). Шарніри A і B допускають відносний обертальний рух між стрижнем і дисками. Диски притиснуті один до одного. В точці C контакту ковзання циліндричних поверхонь відсутнє. Систему з нерухомим диском 2 використовують як фізичний маятник. Диск 1 зі стрижнем коливається щодо осі A . Знайдіть період коливань маятника за малих відхилень стрижня від положення стійкої рівноваги. Масою стрижня та втратами енергії на тертя знехтуйте.

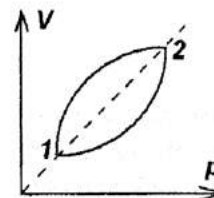
Задача 4.

Між катодом і анодом, розташованими на віддалі d , прикладена деяка напруга (див. рис.). Міжелектродний проміжок заповнений газом. Під дією ультрафіолетового випромінювання з катода виходять електрони, які утворюють струм i_0 . Середня кількість актів йонізації атомів нейтрального газу, які здійснює один електрон на одиниці довжини шляху, дорівнює α ($\alpha \gg 1$), так, що концентрації електронів у точках x_0 та x пов'язані

співвідношенням $n(x) = n(x_0) e^{\alpha(x-x_0)}$. Позитивні йони, що утворюються в результаті йонізації газу, падають на катод, вибивають із нього електрони і нейтралізуються, на один йон у середньому припадає γ ($\gamma \ll 1$) вибитих вільних електронів. Як будуть розподілені по довжині міжелектродного проміжку струми електронів та йонів? За якої умови розряд стане самостійним? Вплив об'ємного заряду, що виникає в системі, на рух заряджених частинок не враховуйте. Газ вважайте слабо йонізованим (концентрації електронів та йонів значно менші від концентрації нейтральних атомів). Крайовими ефектами знехтуйте.


Задача 5.

Як робоче тіло в тепловій машині використовують постійну масу ідеального одноатомного газу, зміну стану якого зображено на pV -діаграмі (див. рис.). За відповідного вибору масштабів по осях цієї діаграми цикл зображують двома чвертями кіл, причому точки перетину дуг 1 і 2 лежать на бісектрисі кута, утвореного осями діаграми. Визначть ККД теплової машини, якщо відношення максимального і мінімального об'ємів газу в цьому циклі дорівнює $n = 3$. Як зміниться значення шуканої величини, якщо цикл провести в зворотному напрямку?



Задачі запропонували:
 О. Ю. Орлянський (1–2),
 А. П. Федоренко (3),
 І. О. Анісімов (4),
 С. У. Гончаренко (5)



У ПАМ'ЯТЬ ДОСЛІДНИКА ЗІР

6 березня 2005 року помер видатний науковець, Нобелівський лавреат з фізики Ганс Альбрехт Бете. Під час презентації лавреата член Шведської королівської академії наук, відзначаючи широту знань науковця, зазначив, що й інші відкриття Г. Бете також заслуговують окремої Нобелівської премії.

Ганс Альбрехт Бете народився 2 липня 1906 року в Страсбурзі (Лотарінгія, яка тоді входила до складу Німеччини). Він був єдиною дитиною в сім'ї Теодора Юліуса Бете, фізіолога й професора медицини, та Анни Кюн. Ганс ще з дитинства мав добру пам'ять і схильність до математики.

Г. Бете в 1915–1924 рр. навчався в гімназії Гете у Франкфурті-на-Майні, далі два роки був студентом Франкфуртського університету. Щоб здобути кращу освіту, Г. Бете продовжив навчання в Мюнхенському університеті, де на той час працювали відомі фізики. Ще два з половиною роки навчався в аспірантурі Мюнхенського університету під керівництвом А. Зоммерфельда. Докторський ступінь із теоретичної фізики він здобув 1928 року.

Ще аспірантом Г. Бете зацікавився квантовою механікою. Він 1927 року написав працю, присвячену дифракції електронів на кристалах, в якій для пояснення експериментальних досліджень К. Девісона застосував квантову механіку, ще мало зрозумілу тоді багатьом фізикам. Г. Бете був одним із перших науковців, що переконливо продемонстрували можливості квантової механіки.

Г. Бете 1929 року став викладачем Мюнхенського університету, але більшість часу впродовж наступних трьох років провів у Кембриджі (Великобританія), де зустрічався з Е. Резерфордом,

та в Римі, де співпрацював з Е. Фермі. На той час Г. Бете застосував теорію груп, для квантово-механічного опису кристалів, а також зробив вагомий внесок у теорію будови атома. На початку 1930-х рр. він почав теоретичне дослідження втрат енергії частинками під час проходження крізь речовину. До цієї проблеми він повертався постійно впродовж усієї наукової діяльності.

Після антисемітського указу Гітлера 1933 року, Г. Бете звільнили з посади асистент-професора Тюбінгенського університету. Науковець залишив Німеччину. Він читав лекції в Манчестерському університеті (1933), упродовж 1934–1935 рр. був членом Наукової ради Бристольського університету, 1935 року став асистент-професором Корнельського університету (США), з 1937 року – повним професором. Науковець 1941 року став громадянином США. Г. Бете з американськими фізиками Р. Бечером і М. Лівінгстоном написав декілька ґрунтовних праць з ядерної фізики, де було підсумовано відомі на той час (1936) результати в цій галузі. Ці праці відразу ж стали класичними і понад двадцять років їх широко цитували.

На конференції з теоретичної фізики у Вашингтоні (штат Колумбія) 1938 року Г. Бете зацікавився питанням про механізм отримання енергії Сонцем та іншими зорями. Астрономи зібрали чимало інформації про високі температури й інші характеристики зір і дійшли висновку, що джерело енергії мусить мати термоядерну природу. Але вони не могли встановити реакції, які давали б кількісні узгодження з розміром, віком й іншими характеристиками зір. Опрацювавши астрономічні відомості та застосувавши свої енциклопедичні знання в галузі ядерної фізики, Г. Бете розв'язав цю проблему за шість тижнів.

Німецький астроном Карл фон Вайцеккер уперше запропонував для пояснення цієї проблеми синтез двох протонів (ядер водню, які у великій кількості містяться всередині Сонця), при



якому утворюється дейтерій і виділяється енергія у вигляді позитрона і нейтрино. Фізик розглянув такі зоряні характеристики, як температура, густина, склад, розрахував швидкості реакцій і показав, що така реакція синтезу забезпечує спостережуване виділення енергії Сон-

цем. Його обчислення також показали, що для зір, масивніших від Сонця, реакції синтезу мають бути інші. Для таких зір Г. Бете запропонував шестиступінчатий вуглецево-азотно-кисневий цикл. На першому кроці вуглець з атомною вагою 12 (найпоширеніша й стійка форма вуглецю з шістьма протонами і шістьма нейтронами в ядрі) захоплює протон, перетворюючись на азот-13 (сім протонів, шість нейтронів) і випромінює енергію у вигляді гамма-променів. Нестабільний азот-13 розпадається, випускаючи позитрон і нейтрино, перетворюючись на вуглець-13 (шість протонів, сім нейтронів). Далі вуглець-13 захоплює протон перетворюється на азот-14 (сім протонів, сім нейтронів), що випромінює гамма-промені. Азот-14 захоплює протон і стає киснем-15 (вісім протонів, сім нейтронів), що також випромінює гамма-промені. Нестабільний кисень-15 випускає позитрон (замінюючи протон нейтроном) і нейтрино, перетворюючись на азот-15 (сім протонів, вісім нейтронів). Нарешті азот-15 захоплює протон і перетворюється на кисень-16. Він також першим математично обґрунтував те, що недавно відкритий мезон може зумовлювати сили, що утримують ядра від розпаду.

На початку Другої світової війни дослідник працював над застосуванням мікрохвиль у радіолокації, а 1943 року приєднався до Мангеттенського проєкту в Лос-Аламосі (штат Нью-Мексико). Там, працюючи керівником відділу теоретичної фізики, він відповідав за обчислення можливих

наслідків вибуху атомної бомби. Його глибокі знання в галузі ядерної фізики, ударних хвиль та електромагнетної теорії дали змогу розв'язати низку проблем і сприяли успішним програмам. Г. Бете був присутнім під час першого випробування атомної бомби 16 липня 1945 року.

Г. Бете, повернувшись до Корнельського університету, продовжив наукові дослідження. Водночас він багато зробив з іншими науковцями для усвідомлення суспільством тієї небезпеки, яку несе людству ядерна зброя. Учений завжди був прихильником контролю над озброєннями, підтримуючи водночас ідею застосування ядерної енергії в мирних цілях. Із 1956 до 1959 року Г. Бете працював у науково-консультаційному комітеті при президентові США.

Г. Бете нагородили Нобелівською премією з фізики 1967 року "за внесок у теорію ядерних реакцій, особливо за відкриття, що стосується джерел енергії зір".

Згодом Г. Бете вивчав вхід високоенергетичних частинок у земну атмосферу, розподіл матерії у нейтронних зорях, а також колапс гігантських зір. Г. Бете 1975 року залишив Корнельський університет і вийшов на пенсію. Однак до глибокої старості він цікавився фізикою, підтримував стосунки з багатьма науковцями. Науковець був скромний та уважний до інших, захоплювався лижами і гірськими сходженнями, а згодом цікавився економікою. Його поважали за розум і ретельно розроблені наукові методи.

Крім Нобелівської премії, Г. Бете одержав медалі "За заслуги" від уряду США, Генрі Дрейпера Американської національної академії наук, Макса Планка Німецького фізичного товариства, Енріко Фермі Комісії з атомної енергії США, Еддінгтона Лондонського королівського астрономічного товариства, премію Венневару Буша Американської національної академії наук, золоту медаль ім. М. В. Ломоносова за високі досягнення в галузі фізики.

Г. Бете був Почесним доктором університетів Бірмінгема й Манчестера. Він був членом Американського філософського товариства, Американської національної академії наук, Американського фізичного товариства й Американського астрономічного товариства, а також іноземним членом Лондонського королівського товариства.



Досліди Мудрагелика

Валерій Старощук,
учитель фізики СЗШ № 3 м. Києва

Заняття 5

Мудрагелик вчиться керувати погодою

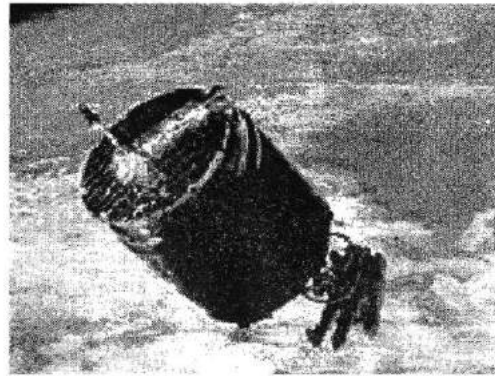
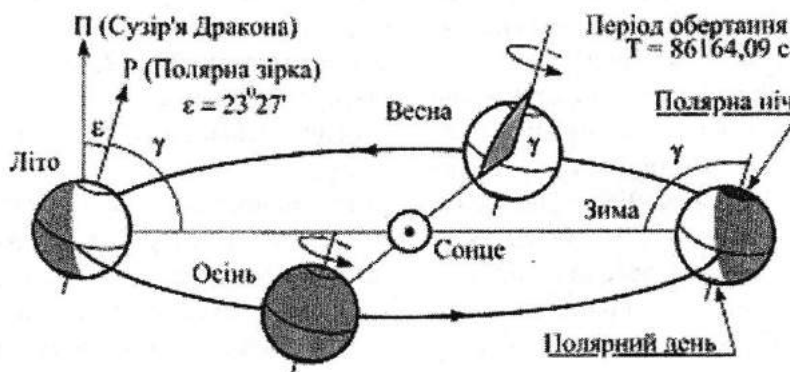


Рис. 1

Кажуть, якщо немає про що говорити, говорять про погоду. Це неправда. За дослідженнями науковців, тема погоди є найголовнішою темою для розмов між людьми в будь-якій країні світу й в усі часи. Погода може змінити ваш настрій, самопочуття, плани на завтра, або вихідні, а деколи, вона змінює навіть життя людини. Тому під час зустрічі ми розпитуємо одне одного, що там чути про погоду. Найчастіше нас цікавить температура повітря вдень і вночі, а також можливість опадів у найближчий час.

Люди завжди намагалися, якщо не вплинути, то хоча б передбачити, якою буде погода в найближчі дні та місяці. Багаторічні спостереження за погодою давали людям прикмети та ознаки, за якими вони будували прогноз погоди майже на рік. З появою космічних апаратів (мал. 1), які ведуть спостереження за погодою, прогнози погоди стали набагато точнішими особливо на найближчий час. Спробуймо розібратися, які головні чинники впливають на погоду.

Наша планета Земля обертається навколо Сонця по еліптичній орбіті. Перигелій (точка найближчої відстані між Землею і Сонцем, 147 млн км) Земля проходить узимку, а афелій (152 млн км) –





улітку. Відстань між Землею і Сонцем змінюється на 3%. Це означає, що освітленість Землі змінюється майже на 7%. Проте головним чинником у зміні освітленості є зміна з часом кута нахилу сонячних променів. Кут між напрямом на Сонце і вертикаллю конкретного місця сильно змінюється не лише впродовж дня, а року. Вісь обертання Землі спрямована до Полярної зорі (сузір'я Малої Ведмедиці) і розташована під кутом $23^{\circ}27'$ до перпендикуляра, що встановлений до площини, якій належить орбіта обертання Землі.

Пори року змінюються внаслідок нахилу земної вісі. На рис. 2 видно, що коли на північній півкулі зима, є місце всередині Північного полярного кола, куди сонячні промені не потрапляють зовсім. Біля Північного полюса настає полярна ніч, а на Південному полюсі Сонце не заходить (рис. 3, 4).



Рис. 3

Під час руху Землі по орбіті, її вісь обертання не змінює свого напрямку. Ділянки полярної ночі на півночі і полярного дня на півдні поступово зменшуються і настає момент (21 березня), коли земна вісь перпендикулярна до напрямку на Сонце ($\gamma = 90^{\circ}$). У цей момент тривалість дня і ночі однакові на всій планеті. 22 червня настає момент літнього сонцестояння. Сонце опівдні займає найвище положення над горизонтом у ці дні. А восени, 22 або 23 вересня, знову настає момент, коли тривалість дня і ночі теж однакові (осіннє рівнодення).

Поверхню нашої планети та її атмосферу зігріває сонячне випромінювання. Відомо, що Сонце випромінює в усі боки щосекунди $3,8 \cdot 10^{28}$ Дж енергії. На Землю потрапляє лише половина мільярдної частки всього сонячного випромінювання — $1,7 \cdot 10^{17}$ Дж/с. Майже 30% світлової енергії Земля



Рис. 4

відбиває у космос. Саме завдяки цьому ми бачимо Землю на знімках з космосу (мал. 3–5).

Інша частина енергії зігріває нашу планету і також випромінюється у космос, але у вигляді інфрачервоних променів, яких наше око не бачить. Якби цього не було, наша планета невпинно розігрівалася б.



Рис. 5

Найбільше Земля розігрівається біля екватора, що спричиняє потужний вертикальний потік повітря, який піднімається на значну висоту і рухається до полюсів. Охолоджуючись, він у середніх широтах рухається донизу і знову прямує до екватора. Обертання Землі закручує потоки повітря у потужні циклони (мал. 6, 7). Такі циклони різко змінюють погоду в конкретній місцевості.

Найменше енергії від сонячних променів потрапляє на Землю біля її полюсів. Ці зони Землі відіграють роль холодильників, які підтримують тепловий баланс на Землі. Деколи, із середньою

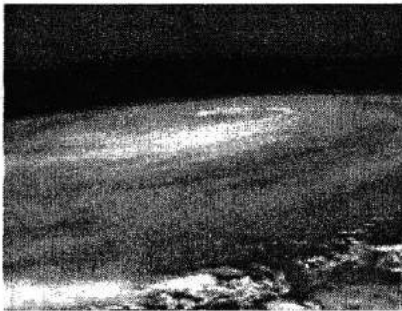


Рис. 6

періодичність 100 тисяч років, тепловий баланс на Землі порушується. І тоді, лід на полюсах і льодовиках наростає. Відомо, що 250 тисяч років тому льодовик, який починався в Скандинавії, заходив по Дніпру нижче від Києва.

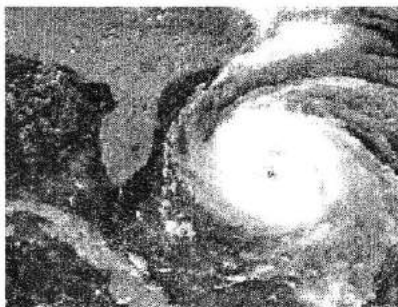


Рис. 7

Треба розуміти відмінність між погодою і кліматом. Погода – це стан атмосфери і земної поверхні конкретного дня і конкретної години на всій планеті, а клімат – середній показник для місцевості.

Мудрагелик завжди мріяв навчитися змінювати погоду. Як досвідчений експериментатор, він почав проводити досліди не над усією пла-



Рис. 8

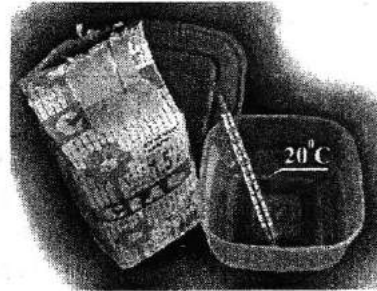


Рис. 9

нетою, а в маленькій посудині, щоб спочатку перевірити свої ідеї.

На цьому занятті ми навчимося знижувати температуру суміші за кілька секунд на десятки градусів Цельсія, не користуючись холодильником! Для досліду нам треба мати термометр (мал. 9), який може вимірювати температуру від -20°C

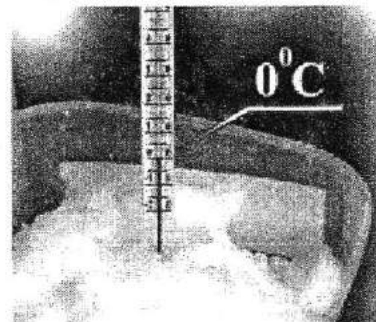


Рис. 10

до $+70^{\circ}\text{C}$, посудину для снігу, сіль та сніг (лід у вигляді дрібних шматочків).



Рис. 11



Проведення досліду

Наберіть у посудину сніг. Якщо снігу не має, підійдуть шматочки льоду з морозильної камери, але попередньо їх треба загорнути в хустинку і розбити на дрібні шматочки за допомогою молотка. Почекайте, щоб температура снігу у посудині стала 0°C (мал. 10). Далі додайте сіль до снігу та розмішайте (мал. 11, 12). Солі має бути удвічі менше ніж снігу, але якщо перебільшите, дослід все одно вийде.



Рис. 12

Перемішайте сіль зі снігом, вставте у цю суміш термометр і спостерігайте, як стрімко спадає температура (мал. 13). Після кількох хвилин знижен-

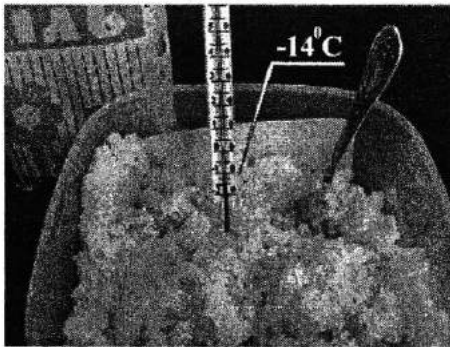


Рис. 13

ня температури припиниться, і далі вона почне повільно зростати до кімнатної.

Пояснення явища

Перенасичений розчин солі замерзає за температури нижче від 0°C , тому сніг зі сіллю стрімко



Рис. 14

тане. Для руйнування кристалічної ґратки кристалів льоду потрібна значна кількість енергії. Тому температура суміші швидко знижується. Якщо посудину поставити на кришку або дерев'яну підставку, попередньо змочену водою, то вона примерзне до посудини (мал. 14). Цей дослід особливо вражає, коли його проводити в літню спеку.

Запитання

1. Процес танення снігу в суміші зі сіллю триває доти, поки не буде досягнуто температуру замерзання отриманого розчину. Суміш снігу з кухонною сіллю (у співвідношенні 2 : 1) дає змогу отримати охолодження до -21°C . Чому в нашому досліді зниження температури було тільки до -14°C ? (Примітка від Мудрагеліка для тих, кого не лякають морози.

Суміш снігу з хлористим кальцієм (CaCl_2) у співвідношенні 7 : 10 дає зниження температури до -50°C).

2. Чи можна стверджувати, що танення айсбергів у солоній воді також призводить до зниження температури навколо айсберга (мал. 15)?



Рис. 15

Електрон обертається навколо ядра як планета навколо Сонця

Американським науковцям вдалось на практиці реалізувати просту модель атома, в якій електрон обертається навколо ядра як планета навколо Сонця.

Перша модель будови атома, яку запропонував Е. Резерфорд 1911 року, ґрунтувалась на уявленні про атом як про зменшену копію Сонячної системи: основна маса зосереджена в ядрі, а електрони обертаються навколо нього по планетарних орбітах. Однак одразу з'явилися великі сумніви в справедливості цієї моделі, оскільки вона не могла пояснити спектри випромінювання атомів, які спостерігались експериментально, зокрема, рідбертівську серію ліній в атомі водню, яку було відкрито ще 1888 року.

Щоб узгодити теорію з експериментом, Н. Бор 1913 року постулював квантування моменту імпульсу електрона в атомі, з чого випливав висновок про дискретність радіусів електронних орбіт. І лише після створення основ квантової механіки стало зрозуміло, що електрон в атомі треба розглядати не як планету, що рухається навколо світила-ядра по класичній орбіті, а швидше як деяка розмита хмарка. Квантова механіка змогла не лише пояснити електронну структуру величезної кількості атомів і молекул, а й передбачила велику кількість нових ефектів, які згодом були виявлені експериментально. Однак це не робить її легкою для сприйняття. Сучасне уявлення про будову атома дуже втратило в наочності порівняно з планетарною моделлю.

“Компенсувати” цей недолік вирішили науковці з Університету Вірджинії (США). Вони “сконструювали” класичні резерфордівські атоми літію, в яких електрони обертаються навколо нього подібно як класичні частинки. Щоб виготовити такі атоми, можна локалізувати електрон-

ну хмарку на орбіті, тобто сформулювати хвильовий пакет із когерентної суперпозиції хвильових функцій. Це досягається шляхом дії на атоми пікосекундними чи фемтосекундними лазерними імпульсами, які збуджують електрон у ділянці енергій з великими значеннями головного квантового числа n , де електронні рівні розміщені дуже щільно (що більше станів у хвильовому пакеті, то краще він локалізований). Орбітальна (кеплерівська) частота пакета дорівнює $f_K = \Delta e/h$, де Δe – різниця енергій сусідніх станів, які формують хвильовий пакет. Оскільки енергія зв'язку електрона в атомі $E_b = R_y/n^2$, де R_y – стала Рідберга, то $\Delta e \gg 2R_y/n^3$ для $n \gg 1$, отже, при $n = 70$ частота $f_K = 19,2$ ГГц перебуває в СВЧ діапазоні. Однак через дисперсію f_K і ефекти дефазування вже за декілька десятків оборотів навколо ядра хвильовий пакет розмивається. Щоб його зберегти, на атом діють слабким мікрохвильовим полем, яке осцилює з частотою f_K . Це поле синхронізує рух електрона і не дає пакетові розпливатися впродовж декількох тисяч періодів його обертання по орбіті, що вже може бути корисним для деяких практичних застосувань (наприклад, для опрацювання інформації).

В атомі літію над заповненою 1s-оболонкою є один валентний електрон. Його і закидали на кеплерівську орбіту американські науковці. Було показано, що плавна зміна частоти стабілізуючого поля дає змогу змінювати орбітальну частоту електрона, а, отже, – і розміри його орбіти. Наприклад, зниження частоти від 19 ГГц до 13 ГГц приводить до збільшення n от 70 до 79, про що свідчать результати вимірювання енергії йонізації.

За матеріалами журналу “Science”,
та інтернет-ресурсу Scientific.ru

Космічний зонд NASA 4 липня 2005 року успішно зіткнувся з кометою “Темпль-1”. Мідний блок вагою 372 кг на величезній швидкості бомбував комету. Комета “Темпль-1” обертається навколо Землі з періодом 33 роки і перебуває між орбітами Юпітера і Марса. Відстань від Землі до комети становить 134 млн км.

Потужність вибуху в тротиловому еквіваленті становила 5 тонн. На ядрі комети утворився кратер завглибшки 25 м і діаметром 100 м.

Так успішно закінчився основний етап проекту “Deep Impact”. Донедавна, встановлені на блоці відеокамери зафіксували і передавали на Землю зображення комети. Дослідники сподіваються, що

відомості, одержані з блоку після зіткнення, допоможуть краще зрозуміти історію формування Сонячної системи і виникнення життя на Землі.

“Темпль-1”, як і багато інших комет, містить речовини, які за віком відносяться до часу формування Всесвіту. Саме до цих речовин намагаються дістатись вчені за допомогою блоку. Деякі вчені вважають, що саме комети свого часу

принесли на Землю воду, а також деякі хемічні структури, з яких згодом зародилося життя на нашій планеті.

Місія “Deep Impact” має й інше, не менш важливе значення. Унікальний дослід, одержаний в результаті цієї операції, дасть змогу в майбутньому планувати руйнування космічних об’єктів, які створюють загрозу зіткнення із Землею.

У Сонячній системі знайшли нову планету

Астрономи виявили невідоме раніше велике космічне тіло на окраїні Сонячної системи. Об’єкт ніколи не наближався до Сонця ближче ніж Нептун, а більша частина його орбіти проходить за межами орбіти Плутона. Це одне з найбільших космічних тіл, які виявлені в Сонячній системі – його діаметр становить не менше 1500 кілометрів.

Науковці припускають, що виявлений об’єкт може перевишувати за розмірами Плутон, діаметр якого 2274 км. Точний розмір тіла визначити поки що не вдалось, оскільки частина видимого діаметра може виявитися просто свіченням, а не твердою поверхнею. Припускають, що це нова планета, яка складається з льоду і породи.

Як з’ясувалось, нове небесне тіло відкрили дві групи науковців майже водночас. Фахівці з Інституту астрофізики в Андалусії виявили об’єкт під час вивчення фотографій околиць Сонячної системи і назвали його 2003 EL61. Американські дослідники виявили його за допомогою телескопа Gemini. Вони назвали цей об’єкт K40506A.

Результати досліджень американців будуть оприлюднені на науковій конференції у вересні 2005 року. Нині астрономи інших обсерваторій перевіряють ці результати, матеріали яких зможуть підтвердити існування нового космічного об’єкта.

Конкурентка Нобелівській премії

Фізик Фред Кавлі, американський мільйонер норвезького походження, оголосив про заснування нової наукової премії, яка може стати конкурентною до Нобелівської. Премію будуть вручати раз на два роки за досягнення в галузі астрофізики і нанотехнологій, а також за дослідження головного мозку.

Припускають, що нову премію вперше буде вручено в Осло у вересні 2008 року, за місяць до оголошення Нобелівських лавреатів. Призовий фонд премії становить 1,3 млн доларів, тоді як розмір Нобелівської премії – 1,8 млн доларів.

Ф. Кавлі вважає, що рішення нового призового комітету будуть сміливіші, ніж ті, які ухвалює Нобелівський призовий комітет. Нобелівську премію, якою вперше нагородили 1901 року Вільгельма Рентгена, часто критикують за надлишкову консервативність. Попри те, що сам Альфред Нобель заявляв, що має намір нагороджувати “вчених-мрійників”, яким бракує коштів на наукові дослідження, премію найчастіше одержують за багаторічні дослідження науковці похилого віку. Ф. Кавлі сподівається, що його премія буде для “набагато молодших”.

Фред Кавлі приїхав до США 1955 року, маючи в кишені 385 доларів. Він оселився в Каліфорнії й створив компанію з виготовлення сенсорних давачів, які застосовували в авіації. Ф. Кавлі 2000 року продав компанію за 430 млн доларів. Значну частину цих коштів використали на фінансування науково-дослідних інститутів, дев’ять з яких – у США (Стенфордському, Бельському, Корнельському, Массачусетському технологічному університетах, університеті Санта-Барбари), і в Нідерландах (Дельфтський технологічний університет).



ЧЕРНІВЕЦЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТОВІ ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

130 років

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича розташований у найвеличнішій будівлі сучасних Чернівців – чудовому комплексі, що був споруджений в 1864–1882 рр. як резиденція буковинських митрополитів за проектом і під керівництвом чеського архітектора Йосифа Главки. Оздоблювальні роботи інтер'єрів, виконали віденські художники К. Обстом, І. Кляйн, чеський К. Свобода, буковинський Е. Бучевський і Є. Максимович. Стиль будівель еkleктичний з доміантою мотивів візантійської та романської архітектури. У головному корпусі на другому поверсі розташовані Мармурова, Блакитна та Червона зали. У лівому корпусі – колишня семінарська церква (нині університетська церква Трьох Святителів). Поряд з університетом мальовничо спланований дендрологічний парк з рідкісними видами рослин.

Святкове відкриття університету в Чернівцях з присвоєнням йому імені імператора Франца Йосифа відбулося 4 жовтня 1875 р. Першим ректором університету був Костянтин Томащук. На початку в університеті були юридичний, філософський і теологічний факультети. Для потреб університету 1877 р. заклали ботанічний сад, відкрили фармацевтичний відділ філософського факультету, кафедру зоології, ботаніки, мінералогії, фізики. На філософському факультеті створили кафедру української мови, яку очолювали професори Г. Онишкевич, О. Калужняцький, К. Ганкевич, від 1885 до 1919 року – проф. С. Смаль-Стоцький. На початку ХХ ст. на кафедрі працювали О. Маковей та З. Кузеля. На той час в університеті працювали науковці зі світовим ім'ям: Й. Шумпетер,

ІНТЕРВ'Ю З РЕКТОРОМ

Кор.: Уточніть, будь ласка, це лише сільські діти, чи й є з міських шкіл.

Степан Мельничук: Не обов'язково із сільських шкіл. Рівень викладання фізики в школах дуже низький, і в міських школах також.

Кор.: Ви є співавтором підручника з фізики для школярів 7- та 8-го класів. Чи цей підручник кращий, ніж ті, за якими навчалися учні досі?

Степан Мельничук: Нам би хотілося, щоб цей підручник був корисний. За відгуками вчителів та школярів – це добрий підручник. Наприклад, у Тернопільському педагогічному університеті запровадили таку методику. Вони розглядають якусь тему з фізики, і готуються за різними підручниками. Викладачі рекомендують саме наш підручник студентам, бо кажуть, що там найкраще висвітлена та чи та тема.

*(Продовження,
початок 2 стор. обкладинки)*

Кор.: Пане Ректоре, але ж цей підручник для школярів, а не для студентів.

Степан Мельничук: Звісно, але в педагогічних університетах готують учителів фізики для шкіл. І якщо цей підручник сприймуть учителі фізики, то це запорука того, що його сприймуть і школярі.

Кор.: Чи пройшов Ваш підручник апробацію в усій Україні?

Степан Мельничук: На жаль, в усій Україні – ні, лише в декількох областях. Для цього треба його надрукувати масових накладом. А на це потрібні чималі кошти. Нині цим виданням вже зацікавилось одне серйозне українське видавництво. Сподіваємось, що невдовзі українські школярі навчатимуться за цими підручниками.



Є. Ерліх, Г. Гросс, Г. Ленц, Ф. Чапек, М. Раданович, Р. Ф. Кайндль, І. Ончул, І. Сбіера. Там навчалися І. Франко, В. Сімович, Д. Лукіянович, Ю. Кобилянський, С. Шпойнарівський, О. Колесса.

Після відновлення австрійської влади в Чернівцях крайовий уряд прийняв рішення про продовження роботи університету.

Відколи буковинський край ввійшов до складу Румунії, навчання в університеті велося румунською мовою.

У жовтні 1920 року за участю короля Фердинанда I відбулася інавгурація ректора Й. Ністора. Реорганізація університету 1923 року призвела до поділу філософського факультету на природничий і філософсько-філологічний. Було зведено (але не закінчено) приміщення наукової бібліотеки. Серед відомих учених і викладачів університету були Г. Костяну, Е. Бедереу, С. Стоїлов, М. Ніколеску, Г. Вранчану, Й. Ністор.

Після входження Північної Буковини до складу УРСР 13 серпня 1940 р. раднарком УРСР ухвалив рішення про реорганізацію Чернівецького університету на державний з українською мовою викладання. Першим ректором українського університету був доцент Захар Шульга. Університет розпочав свою діяльність 1 жовтня 1940 р. у складі шести факультетів: фізико-математичного, геоло-

го-географічного, біологічного, хемічного, філологічного та історичного. Викладацький склад формувався з викладачів, які прибули до краю з різних навчальних закладів СРСР. Серед них були М. Боголюбов, М. Пасічник, П. Білик, М. Скавронський та ін.

Під час війни Чернівецький державний університет був евакуйований до м. Куйбишева. Вночі у Чернівцях на базі університету румунська влада створила політехнічний технікум і відновила теологічний факультет. Після звільнення Буковини 10 жовтня 1944 р. університет відновив свою діяльність.

Чернівецькому університетові 1989 року було присвоєно ім'я відомого українського письменника Буковини, провісника українського національного відродження в краї Юрія Федьковича.

У повоєнний період університет поступово нагромаджував свій науковий потенціал. Зростала кількість факультетів та спеціальностей. Зокрема на початку 1970-х років було відкрито економічний, а на початку 1980-х років – інженерно-технічний факультети. Відновлення незалежності України сприяло зростанню університету, розширенню наукових напрямів. Року 1990 було відкрито педагогічний та відновлено юридичний факультети, а 1992 року – філософсько-теологічний факультет.

ІНТЕРВ'Ю З РЕКТОРОМ

Кор.: Я знову повертаюсь, до проблем фізики. До слова, хочу нагадати нашим читачам, що Чернівецьку область сьогодні очолює також фізик, колишній ректор Чернівецького національного університету імені Ю. Федьковича Микола Ткач. Сподіваюсь, що деякі питання Ви зможете нині вирішити й на регіональному рівні. Як Ви співпрацюєте з Міністерством освіти і науки України?

Степан Мельничук: Важко сказати. Це як оазис в пустині. Спочатку має бути мотивація до навчання, зокрема й до вивчення точних наук – фізики, математики тощо. Знову повторююсь, зацікавлення поки що є економікою, юриспруденцією... Але як тільки піде виробництво – ситуація зміниться. Нині в Україні розвивається лише

важка металургія, вугільна – це сировинні галузі, а, отже, Україна може перетворитися на сировинний придаток до розвинутих країн.

Кор.: Чи це не означає, що треба зачекати і перестати викладати фізику в школі, закрити фізичні факультети в університетах?... Що робити?

Степан Мельничук: Вчитися.

Кор.: Я хочу, щоб наші читачі почули, що скаже їм фізик, Ректор Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Як учитися?

Степан Мельничук: Я колись написав статтю "Про бідний про синус замовте хоч слово". Без цих наук не буде й інших. Інакше все вимре. Я знаю сотні людей, які з фізиків стали економістами, і не знаю жодного економіста, який би став



Попри на ідеологічний тиск і суворий нагляд за професорсько-викладацьким складом та студентством вищого навчального закладу з боку партійних органів і радянських спецслужб, у його складі творчо працювали і прибулі науковці, і ті, що виростили й сформувалися в його стінах як відомі вчені, які зробили вагомий внесок у розвиток різних галузей наук. Серед них були біологи М. Леутський, Т. Молотковський, І. Артемчук, С. Костишин; фізики А. Самойлович, К. Товстюк, Л. Анатичук, М. Гавалешко; хеміки Г. Пилюгін, Д. Білоцький, А. Домбровський, О. Лопушанська; математики М. Боголюбов, М. Фаге, В. Рубаник, С. Ейдельман; географи М. Каніболоцький, А. Снявський; філологи – М. Фатов, Р. Волков, В. Лесин, О. Пулинець, І. Слинко, М. Івасюк, В. Сорбале; історики О. Голобуцький, М. Алекберлі, С. Черезов, П. Михайлина, І. Гриценко, М. Ляхович.

Розвиваються міжнародні зв'язки університету. Нині їх налагоджено з 31-м навчальним і науковим закладом у 17-ох країнах світу та з понад 20-ма міжнародними фондами та організаціями в Канаді, США, Австрії, Німеччині, Румунії, Молдові, Польщі, Китаї, Росії, Іспанії, Франції та ін.

У нас 1992 р. було створено науково-дослідний центр Буковинознавства, який діє у складі науково-дослідної частини університету. Його мета –

залучити науковців до розв'язання фундаментальних проблем у галузі суспільних і природничих наук, які пов'язані з Буковиною як культурно-історичною спільнотою.

Сьогодні в університеті навчається майже 9 тисяч студентів денної та 8 тисяч заочної форми навчання, які здобувають ступені бакалаврів, спеціалістів і магістрів за 70-ма спеціальностями. Професорсько-викладацький склад університету – це понад 900 викладачів, з яких майже 100 докторів наук, професорів і понад 500 кандидатів наук, доцентів. Університет має військову кафедру, 6 спеціалізованих вчених рад із захисту кандидатських і докторських дисертацій, є членом міжнародної асоціації університетів “Phi Beta Delta” (США).

Основні напрями наукових досліджень: теоретичні та прикладні дослідження напівпровідникового матеріалознавства; розроблення нових технологій, матеріалів, мікросхем і приладів для опто-, радіо- та мікроелектроніки, напівпровідникового приладобудування; статична оптика, голографія; технології модульного навчання; інноваційні технології в бізнесі та освіті, проблеми творчої самореалізації особистості; охорона довколишнього середовища; екологія; географія; історія України, проблеми мови та літератури.

ІНТЕРВ'Ю З РЕКТОРОМ

фізиком. Тобто фізика і математика – це основа всіх інших наук. Перекваліфікуватись із фаху фізика на інший досить легко, але стати фізиком після фаху юриста чи економіста – це нереально. Життя таке, що примушує перекваліфіковуватись. Але річ не в перекваліфікації, а в тому, що ці фахи потрібні суспільству для виробництва, для того, що воно самореалізовувалось далі.

Кор.: Шановний Пане Ректоре, хочу запитати Вас як дописувача журналу “Світ фізики” й автора книжок, як Ви ставитесь до наукових та науково-популярних видань в Україні? Що треба зробити, щоб були українські підручники, зокрема з фізики.

Степан Мельничук: Треба писати, треба друкувати, передусім науково-популярну літературу. Її

немає сьогодні в Україні. Астрологія, замість астрономії, заповнила все. Мусимо працювати, і фізики особливо.

Кор.: Щоб Ви хотіли побажати читачам журналу “Світ фізики”, адже це школярі, вчителі, студенти, науковці, тобто широкий загал фізичної громадськості?

Степан Мельничук: Я хочу, щоб Ваш журнал був найпопулярнішим серед школярів, бо в ньому друкують цікаві статті, з яких можна багато дізнатися про історію фізики, сучасні досягнення з фізики, є цікаві задачі. Це журнал, який варто регулярно читати.

Кор.: Дякую Вам за інтерв'ю. Бажаю успіхів на новій посаді

Інтерв'ю записала Галина Шона



Зважаючи на високі наукові досягнення та з нагоди 125-річного ювілею Указом Президента України від 11 вересня 2000 р. Чернівецькому державному університету імені Юрія Федьковича надано статус національного.

В університеті працює 16 факультетів: біологічний, географічний, економічний, інженерно-технічний, факультет іноземних мов, історичний факультет, політології та міжнародних відносин, факультет комп'ютерних наук, факультет прикладної математики, педагогічний, фізичний, філологічний, хемічний, юридичний, факультет образотворчого і декоративно-прикладного мистецтва (м. Вишниця, Чернівецької області), факультет доуніверситетської підготовки, коледж ЧНУ (м. Чернівці та м. Новодністровськ), навчально-консультативний центр (м. Новодністровськ).

Розвиток фізичних наук в Університеті

Року 1875 на філософському факультеті Чернівецького університету почала працювати кафедра фізики, яку очолював доктор Алоїс Гандль. Від 1918 до 1940 року на фізичному відділенні факультету було три фізичні кафедри: експериментальної, теоретичної та космічної фізики.

Фізико-математичний факультет у Чернівецькому державному університеті створено 1940 року. Від 1949 року на факультеті створили кафедри електронно-йонних процесів та рентгеноструктурного аналізу, 1947 року почала працювати аспірантура, а з 1954 року – рада із захисту кандидатських дисертацій. На факультеті на той час працювали такі видатні науковці, як М. М. Боголюбов та М. В. Пасічник.

Науковці фізики вели комплексні дослідження електричних, фотоелектричних властивостей та структури твердих тіл. Робота фізичних кафедр на початку 1950-х років була об'єднана навколо проблеми фізики напівпровідників. Ініціатором цих досліджень став академік В. Є. Лашкар'єв, а керівником цієї теми – проф. А. Г. Самойлович.

У Чернівецькому університеті 1968 року було організовано фізичний факультет. Вагомі здобутки науковців фізичного факультету сприяли створенню електронної промисловості в Чернівцях і в регіоні. Потужна матеріально-технічна база, висококваліфіковані науково-педагогічні кадри факультету дали змогу відкрити нові кафедри фізики

напівпровідників, напівпровідникової мікроелектроніки, фізики твердого тіла, оптоелектроніки, термоелектрики, радіотехніки та ЕОМ. Цими кафедрами керували відомі учені: К. Д. Товстюк, М. П. Гавалешко, В. М. Ніцович, І. М. Раренко, Л. І. Анатичук, М. Д. Раранський, Л. А. Косяченко, М. В. Ткач. Під керівництвом чл.-кор. АН України проф. К. Д. Товстюка та академіка Л. І. Анатичука були відкриті Чернівецьке відділення інституту матеріалознавства та Інституту термоелектрики АН України в Чернівцях.

Від 1986 року на факультеті працює рада із захисту докторських дисертацій. Підготовку фахівців забезпечують 18 докторів наук, професорів і понад 100 кандидатів наук, доцентів. Свідченням вагомого внеску науковців фізичного факультету в розвиток фундаментальних досліджень стало присудження Державних премій України проф. К. Д. Товстюкові, проф. М. Д. Раранському, проф. І. М. Раренку та доц. І. М. Фодчукові.

Колектив науковців кафедри теоретичної фізики займався дослідженнями в галузі фізики твердого тіла, зокрема фізики напівпровідників. За 50 останніх років 152 випускники кафедри стали кандидатами наук, а 20 – докторами. Із 1986 року кафедру очолює проф. М. В. Ткач. Науковці кафедри працюють над науковими проблемами “Квантова теорія спектрів квазічастинок у твердих тілах” та “Фізика наногетеросистем”.

На фізико-математичному факультеті 1949 року організована кафедра рентгеноструктурного аналізу, яка згодом була перейменована на кафедру фізики твердого тіла. Із 1988 року кафедрою керує проф. М. Д. Раранський, з ініціативи якого на кафедрі 1986 року почалися дослідження з рентгенівської акустики. Досліджені рентгеноакустичні ефекти, що виникають під час фотон-фононної взаємодії в реальних кристалах. Розроблені нові високопрецизійні методи виявлення дислокацій і мікрodefektів. Кафедра фізики твердого тіла підготувала 8 докторів та майже 100 кандидатів наук.

На базі кафедри електронно-йонних процесів 1954 року вперше в Україні було відкрито кафедру фізики напівпровідників (нині – кафедра електроніки та енергетики), яку очолював проф. А. Г. Самойлович, а з 1956 року – проф. К. Д. Товстюк. У 1971–1996 роках кафедрою завідував проф. М. П. Га-



валешко. На кафедрі вивчають нові напівпровідникові матеріали A_3B_5 , A_4B_6 , A_2B_6 , A_3B_6 , з'ясовують особливості їхньої енергетичної структури, природу хемічного зв'язку, механізмів розсіяння та створюють перші макети приладів на їхній основі. Від 1996 року кафедрою завідує проф. П. М. Горлей.

Для забезпечення фахівцями заводів електронної промисловості, які були створені в Чернівцях, 1968 року кафедру фізики напівпровідників поділено на дві: кафедру напівпровідникових матеріалів і напівпровідникової мікроелектроніки. Із 2004 року перейменовану кафедру фізики напівпровідників та наноструктур очолює професор А. Й. Савчук. Там успішно розробляють новий науково-технічний напрям зі створення фізичних основ екстремальних та польових технологій напівпровідників. Кафедра підтримує тісні контакти з підприємствами та науково-дослідними інститутами в Україні, СНД, США, Франції, Китаї.

Наприкінці 1950-х років проф. І. К. Верещагін на кафедрі експериментальної фізики започаткував дослідження в галузі оптоелектроніки, які набули широкого розвитку. Кафедру експериментальної фізики (від 1983 року – кафедра оптоелектроніки) 1970 року очолив проф. Л. А. Косяченко. Головний напрям фундаментальних досліджень кафедри оптоелектроніки – фізичні процеси у напівпровідникових кристалах, зумовлені дією сильного електричного поля, локалізованого в неоднорідних мікроструктурах, та інжекцією носіїв заряду, нерівноважних за конструкцією і за енергією.

На базі кафедри анізотропних напівпровідників 1974 року було створено кафедру термоелектрики. На кафедрі анізотропних напівпровідників та у проблемній лабораторії при кафедрі проводили успішні дослідження термоелектричних явищ у анізотропних середовищах. Цю кафедру з 1967 року очолював проф. А. Г. Самойлович.

Кафедру анізотропних напівпровідників із 1973 року очолив проф. Л. І. Анатичук. На кафедрі активно досліджують основні напрями термоелектрики – теорію термоелектричних явищ, матеріалознавство, термоелектричну енергетику, термоелектричне охолодження та термоелектрич-

ну вимірювальну техніку. Цим зумовлено перетворення кафедри анізотропних напівпровідників на кафедру термоелектрики.

У науковій роботі кафедри радіотехніки сформувались та розвиваються такі головні напрями:

- розроблення радіоелектронної апаратури для науково-дослідних робіт;
- розроблення потужних електронних ключів, керованих електричними й оптичними сигналами та розроблення вторинних джерел живлення, перетворювачів електроенергії для апаратури широкого застосування;
- розроблення систем низового радіозв'язку з використанням мікропроцесорної техніки.

Проводять також фундаментальні теоретичні дослідження флуктуаційних явищ і процесів самоорганізації в матеріалах електронної техніки. Деякі наукові роботи виконують спільно з ЦКБ “Рута”, заводом “Травітон”, Інститутом фізики, Інститутом проблем матеріалознавства НАН України тощо.

На фізичному факультеті денної форми навчання понад 700 студентів (90% з яких навчаються за державним замовленням) одержують підготовку за кваліфікаційними рівнями бакалавр, спеціаліст та магістр за такими спеціальностями:

- **фізика** (спеціалізація – *теоретична фізика, фізична інформатика, оптоелектроніка, фізика напівпровідників і діелектриків*);
- **фізика твердого тіла** (спеціалізація – *комп'ютерні технології у фізиці*);
- **прикладна фізика**;
- **мікроелектроніка та напівпровідникові прилади** (спеціалізація – *інформаційні мікроелектронні системи*);
- **фізична та біомедична електроніка**;
- **нетрадиційні джерела енергії**;
- **радіотехніка** (спеціалізація – *системи захисту інформації*);
- **захист інформації з обмеженим доступом та автоматизація її обробки**.

Рівень підготовки випускників фізичного факультету Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича не поступається рівневі випускників провідних університетів світу, а диплом визнають в інших країнах.



У липні 2005 року минає 60 років від часу першого випробування атомної бомби на полігоні в Аламогордо (США) та першого застосування її для масового знищення людей (було скинуто ядерну бомбу на японські міста: 6 серпня 1945 року – на Хіросіму, 8 серпня – на Нагасакі).

Відтоді світ змінився – різні держави світу почали активно проводити ядерні дослідження, створення бомби та випробування її. Водночас багато міжнародних організацій, окремих науковців, політичних діячів тощо постійно ведуть боротьбу за скорочення та ліквідацію зброї масового знищення. Це протистояння триває й досі. Людство й нині потерпає від наслідків скинутих бомб на Японію та катастрофи на Чорнобильській атомній станції. Єдиною державою в світі, що відмовилась від використання ядерної зброї, є Україна.

Тоді, під час Другої світової війни, було залучено величезні матеріальні та людські ресурси на створення атомної бомби. За надзвичайно короткий проміжок часу в США було організовано роботу, що відома як "Мангеттенський проект", де працювала величезна кількість науковців, фахівці різних професій, військові, політики. Найвагоміший внесок зробили відомі фізики з різних країн (Р. Опенгаймер, Л. Гровс, Е. Фермі, Г. Бете, Р. Фейнман, Е. Лоуренс та багато інших. До речі, одним із причетних до створення бомби був українець Юрій Кістяківський. Згодом він був радником президента США Д. Ейзенгауера). Це був унікальний проєкт поєднання наукових досліджень, застосування нових неапробованих технологій, будівництво та експлуатація виробництва величезних масштабів, який мав позитивний результат. Це був приклад масштабного проєкту з позитивним результатом, який одержано за короткий час, якби не жахлива мета його реалізації та трагічні наслідки, що існують досі.

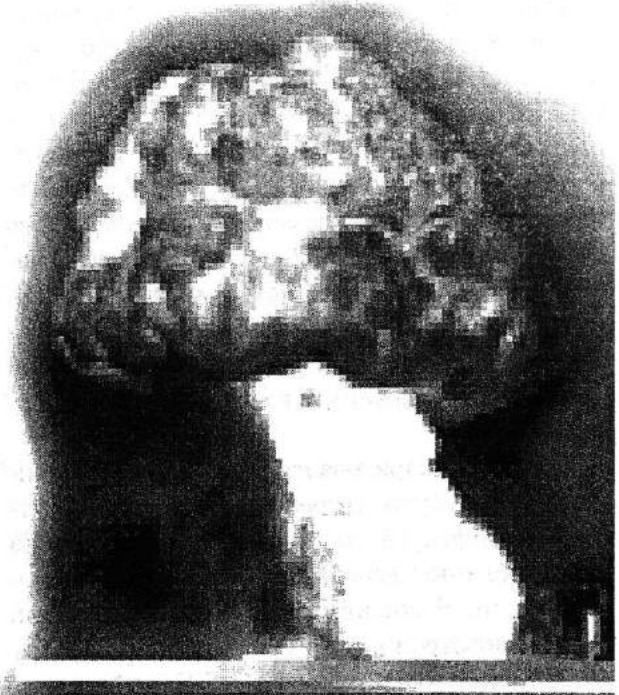
Подасмо читачеві уривок із книжки "Ок-Ридж", одного з керівників Мангеттенського проєкту, Лесли Гровса, "Тепер про це можна розповісти". Саме в цьому місті було створено найголовніші об'єкти – підприємства з одержання та збагачення урану, потрібного для виготовлення бомби.

ОК-РИДЖ

"... центром з одержання матеріалів для виготовлення бомби, крім Ганфорда, був Ок-Ридж. Там було розташовано всі заводи, де невелику кількість урану-235 відділяли від основного ізотопу – урану-238.

Загалом існувало декілька способів виділення урану, проте придатними, з нашого погляду, було лише два: електромагнетний і газодифузійний (методи рідинної термодифузії та центрифугування ще не були розроблені). Будівництво відповідних заводів було затверджено наприкінці 1942 року, тобто майже водночас із початком будівництва плутонієвого заводу в Ганфорді. Ми 1944 року вирішили побудувати ще один термодифузійний завод в Ок-Риджі.

Докладна історія заводів в Ок-Риджі й тих досліджень, у результаті яких вони були створені, зайняла б декілька томів. Я спробую змалювати лише загальну картину цього гігантського комбінату, відомого в ті часи як Клінтонський інже-



нерний завод, і розповісти про основні труднощі одержання ізотопів для створення бомби, яка б поклала край війні.

Спочатку було вирішено, що окремі уранові заводи в Ок-Риджі потрібно розташувати якнайдалі один від одного, бо якщо один з них спіткає катастрофа, інші не постраждають від вибуху або



забруднення. Тому електромагнетний і газодифузійний заводи були розташовані на відстані 27 кілометрів один від одного. Проте, коли будували термодифузійний завод, було знехтувано цими міркуваннями і його побудували безпосередньо біля парогенеруючої станції газодифузійного заводу, щоб використовувати пару максимально високої температури.

Електромагнетний завод (його умовна назва була Y-12) займав площу майже 330 гектарів у південно-східній частині засекреченого району, недалеко від Ок-Риджа. За кількістю працівників цей завод був найбільшим у комбінаті.

Його будівництво розпочали (у лютому 1943 року) і закінчили (першу чергу в листопаді 1943 року) раніше від інших. Протягом року він був єдиним заводом, який працював, а до 31 грудня 1946 року залишався єдиним, де одержували готовий продукт – збагачений уран.

Електромагнетний процес був найважливішою ланкою Мангеттенського проекту. Його метою було виділення урану-235 із природного урану в кількостях і концентрації, достатньої для створення зброї. За своєю суттю це радше фізичний, ніж хемічний, процес, хоча в приготуванні матеріалу хемія мала величезне значення. Загалом ідея методу заснована на тому факті, що важчий йон описує в магнетному полі дугу більшого радіуса, ніж легший. Таким способом можна розділити різні ізотопи одного елемента.

Щоб реалізувати цей спосіб у величезних масштабах, довелося провести значні фізичні й хемічні дослідження і, до того ж, виконати безліч досліджень у суміжних галузях науки, таких як металургія, біологія і медицина. Ми мали спроектувати, побудувати й налагодити експлуатацію величезного заводу з устаткуванням неймовірної складності, не маючи досвіду напівпромислового характеру. Ідея створення напівпромислової установки через брак часу відкинули від самого початку. З цієї ж причини дослідження, проектування і будівництво проводили майже одночасно, тому вони і не могли ґрунтуватися на конкретному досвіді.

Ми ніколи не зважилися б на такий ризикований експеримент, якби не величезна довіра, яку ми мали до здібностей Е. Лоуренса. Ще на початку атомних робіт Е. Лоуренс переконався, що елект-

ромагнетний поділ здійснено, проте його оптимізм мало хто поділяв. Цей метод вимагав використання величезної кількості дуже складних, ще не розроблених пристроїв, пов'язаних із високими напругами, високим вакуумом і сильними магнетними полями. Для масштабного виробництва цей метод здавався майже неприйнятним. Дж. Фелбек, який керував розробленням газодифузійного процесу за завданням фірми "Юніон карбайд", одного разу сказав, що електромагнетний поділ нагадує йому пошуки голки в копиці сіна людиною в боксерських рукавичках. Правда, для одержання невеликих кількостей чистого урану-235 придатність цього методу не викликала сумнівів. Ми все ж таки скористалися цим методом, бо сподівалися, що він забезпечить нам одержання потрібного продукту у великих кількостях.

Подальші події підтвердили правильність нашого рішення. Тільки завдяки цьому ми змогли одержати перші зразки урану-235 для експериментів у Лос-Аламосі і, дещо згодом, для бомби, яку було скинуто на Хіросіму. Без цього урану ми запізнилися б із виготовленням плутонієвої бомби.

Ще задовго до початку потрібних досліджень і до розроблення основного устаткування ми почали проектувати і будувати завод. Будівництво вела фірма "Стоун і Вебстер". За наукове розроблення процесу відповідала Радіаційна лабораторія Каліфорнійського університету, яку очолював Е. Лоуренс, і, нарешті, експлуатацію заводу ми доручили фірмі "Істмен-Кодак", філіал якої "Теннессі Істмен" мав великий досвід у хемічних виробництвах.

В США було лише три фірми, яким ми могли, з нашого погляду, довірити виготовлення електротехнічного устаткування заводу. Щоб не переважувати кожну з них, ми розподілили замовлення між ними: "Дженерал електрик" доручили виробництво електросилового устаткування, "Елліс-Чалмерс" – виробництво магнетів і "Вестингауз" – виробництво вакуумних камер.

Створення та експлуатація такого заводу викликали багато нових інженерних проблем, оскільки лабораторні методи оброблення грамів урану потрібно було пристосувати для оброблення тонн. Успішність операції залежала від узгодженості роботи науковців, конструкторів, інженерів, будівельників. Ці фірми мали в Берклі стільки



своїх представників, скільки їм було потрібно. Майже 50 провідних фахівців було переведено з Берклі до фірми "Теннессі Істмен". Ще одна велика група науковців і інженерів з цієї лабораторії постійно перебувала в Ок-Риджі, надаючи допомогу з встановлення та налагодження устаткування.

Від самого початку було очевидно, що масштаби і вартість заводу будуть гігантські. Перша дуже приблизна оцінка витрат виражалася в сумі майже 12–17 мільйонів доларів. Дуже швидко вона збільшилась до 35 мільйонів.

Ці підрахунки стосувалися, правда, проекту заводу, значно меншого, ніж той, який було остаточно побудовано. У своїй першій доповіді президентові Рузвельтові на початку грудня 1942 року військово-політичний комітет визначив вартість усього проєкту 400 мільйонів доларів.

Тоді ми вважали, що на електромагнетний процес із цієї суми доведеться використати 100 мільйонів. Ці розрахунки були приблизні, оскільки ніхто не мав уявлення про продуктивність такого заводу та його масштаби. Вартість спорудження заводу, за винятком вартості потрібного срібла, взятого в позику в державній скарбниці, на 31 грудня 1946 року становила 304 мільйони доларів. На наукові дослідження було витрачено 20, на спорудження – 6, а на експлуатацію – 204 мільйони доларів. Лише вартість електроенергії становила майже 10 мільйонів доларів.

Приступаючи до будівництва, ми припускали, що потрібний рівень збагачення урану можуть забезпечити дві стадії технологічного процесу. Ці окремі стадії процесу ми назвали альфа- і бета-стадіями. На альфа-стадії початковим продуктом мав бути природний уран. Проте рівень одержуваного збагачення міг бути недостатнім для виготовлення бомби. Потрібного збагачення урану ми розраховували досягти на другій, бета-стадії. Первинна конструкція установки розділення для альфа-стадії мала вигляд великого овалу, що містив із 96 магнетів і 96 приймальних камер. Майже відразу хтось з каліфорнійських науковців придумав для неї назву "рейстрек" (тобто розгінний трек), яка за нею і закріпилася.

Розділові установки для бета-стадії мали працювати на продукті, який одержали на альфа-стадії. Конструктивно вони мали нагадувати альфа-установки. Та оскільки не було впевненості

в тому, що вони будуть потрібні, ми вирішили спочатку побудувати установки для альфа-стадії.

У кінцевому вигляді завод Y-12 складався з п'яти альфа-установок, трьох бета-установок з вісьмома рейстреками по 36 магнетів, хемічних та інших допоміжних корпусів. Установки були величезні. Наприклад, дві будівлі для альфа-установок займали площу по 18 тисяч квадратних метрів кожна. Всередині вони містили складний лабіринт труб та іншого устаткування. Велика частина устаткування перевершувала за розмірами і точністю виготовлення все, що досі розробляли. Багато вузлів було створено наново. Через труднощі в постачанні й кадрах, постійного поспіху і перевантаження фірм-постачальників іншими замовленнями все це унікальне устаткування виготовляли в найважчих умовах.

Спорудження заводу таких масштабів у стислі терміни вимагало добре організованої та чітко керованої армії будівельників. Щоб сформувати таку армію, представники фірми "Стоун і Вебстер" опитали майже 400 тисяч осіб і завербували з усієї країни досвідчених фахівців.

Фірма "Теннессі Істмен" почала негайно навчати свій керівний персонал методів експлуатації електромагнетних заводів на експериментальних установках, які вже працювали в Радіаційній лабораторії Каліфорнійського університету.

Тоді ж почався набір персоналу для експлуатації заводів. Спочатку ми вважали, що обійдеться штатом в 2500 осіб. Проте це припущення виявилось сумним свідченням нашої нездатності передбачати масштаби і складність підприємства. Насправді згодом штат заводу становив 24 тисячі осіб. Основна складність під час набору обслуги полягала в тому, що ми не знали наших майбутніх потреб у людях. Однак до моменту пуску кожного заводу його штат мав бути укомплектований.

Часто під час вишколу обслуги доводилося спотворювати і маскувати значення майбутньої роботи, щоб уникнути витоку секретної інформації.

Спочатку при університеті штату Теннессі в Ноксвіллі було організовано курси, які згодом перетворили в училища і перенесли спочатку в Ок-Ридж, а згодом – безпосередньо на завод. Для зручності навчання і відпрацювання методів експлуатації, щоб уникнути втрати дорогоцінного про-



дукту на альфа-стадії, установки бета-стадії якийсь час працювали на незбагаченому природному урані.

Впродовж усього будівництва та експлуатації заводу Y-12 різноманітність, несподіванка і складність проблем, які виникали, вимагали від керівників винахідливості та енергії. Їхнє успішне рішення є підтвердженням блискучих якостей окриджських керівників. Одним з найважчих моментів була своєчасна і правильна послідовність поставки технологічного устаткування. До того ж, не слід забувати про величезну кількість цього устаткування: гігантських овальних електромагнетів, вакуумних приймальних камер, генераторів, вакуумного устаткування, установок для хемічному виділення продукту і тисяч інших апаратів. Про кількість устаткування дає уявлення той факт, що лише за два тижні було одержано 128 вагонів одного лише електроустаткування. Для зберігання устаткування, що прибувало, в очікуванні надходження вузлів, які мали бути встановлені раніше, було побудовано спеціальний склад. Особливо секретні деталі зберігалися на спеціальній, строго засекреченій території в нерозпакованому вигляді аж до часу їхнього встановлення.

Монтаж першого рейстрека почався, коли будівництво іншого крила будівлі ще не було закінчено. Того ж дня, коли було встановлено мостові крани і залито бетонний дах будівлі, почалося розпаковування та встановлення важких магнетів.

Коли будівлю було майже побудовано, її площу поділили на окремі сектори, доступ в які був встановлений лише за спеціальними пропусками. Це викликало багато незручностей, проте з часом люди звикли до обмежень, і темп робіт не знизився.

Однією із складних неполадок, з якою ми зіткнулися під час наладження устаткування, був вихід з ладу магнетів. Величезні магнети були помішені в товсту оболонку зі сталі. Після тривалих припущень і міркувань про причини неполадок, ми вирішили розкрити один з магнетів, сподіваючись що візуальний огляд допоможе знайти дефект. Магнет після цього ми мали відправити до виробника для усунення дефектів.

Ймовірно, неполадка була зумовлена неправильною конструкцією срібної обмотки, витки якої розташовувалися дуже близько один від одного, або засміченням оливи, яка заповнювала про-

міжки між витками. Домішки збиралися у вузькі зазори між витками, спричиняючи їх замикання.

Я вважав подібні факти абсолютно неприпустимими. Конструкція таких відповідальних вузлів мала бути надійнішою. У завданні на виготовлення магнетів треба було передбачити ступінь чистоти циркулюючої оливи і неможливості її засмічення під час експлуатації. Найнеприємнішим було те, що ніхто з нас і не подумав раніше про серйозні недоліки цієї конструкції. Ще прикріше було дізнатися, що Е. Лоуренс мав подібні неприємності на одному зі своїх циклотронів.

Коли знайшли несправність магнетів, спорудження одного рейстрека було вже завершено, другий – близький до завершення, а монтаж третього лише почався. Ми вжили найтерміновіших і енергійних заходів, щоб поліпшити ситуацію. Магнети демонтували і відвезли в Мілуокі для перероблення. Величезні срібні обмотки уклали заново, тепер уже з більшим проміжком. Було терміново побудовано спеціальний завод для травлення сталі, всі сталеві патрубки обробляли до повного видалення іржі. Деталі було зібрано з дотриманням найретельніших запобіжних заходів. Усе заново встановлюване устаткування згодом піддавали аналогічному обробленню. Конструкцію магнетів негайно виправили. Надалі у нас не спостерігалось жодного випадку, щоб вийшли з ладу магнети.

Проаналізувавши ситуацію, ми виявили, що саботажник, який проник до складу персоналу, легко може підкинути в оливу через заправні люки жменю залізної тирси, що виведе з ладу секцію рейстрека. Тому біля цих місць ми негайно встановили пости спостереження.

Серйозні труднощі виникли згодом. Раніше ми не стикалися з такими могутніми магнетами і не могли передбачити зсуви багатотонних камер під впливом магнетних сил. Камери, які важили майже 14 тонн, зсувалися на відстань 7–8 сантиметрів, що викликало сильні механічні напрути у трубах, які були приєднані до них. Цю проблему ми розв'язали, закріпивши камери до товстих сталевих балок.

Іншою прикрістю стали запасні деталі. Визначити потребу в них до експлуатації заводу було неможливо, і тому кількість тих чи тих деталей визначали майже намання. У результаті ми по-



чали швидко відчувати гостру потребу в багатьох деталях, тоді як інші мертвим вантажем лежали на складах. Для лабораторних досліджень нам були потрібні деякі вкрай рідкісні речовини, наприклад самарій, реній, ітрій та інші рідкісні й рідкоземельні елементи. Деякі з речовин, які раніше використали обмежено, були потрібні у великих кількостях. Наприклад, лише один рейстрек на альфа-стадії потребував щотижня до 15 тисяч літрів рідкого азоту.

Одного разу роботу однієї з камер рейстрека було зупинено. Не могли досягти потрібного високого вакууму. Після декількох днів марних пошуків неполадки, камеру відімкнули й розібрали. У ній знайшли залишки миші (шматочки шкіри і хвіст), що пояснило нам причину неполадки. Як миша могла потрапити в камеру так і залишилося для нас таємницею.

Серйозніші неприємності заплідив нам птах, який одного разу сів на зовнішній електричний провід, і це викликало коротке замикання мережі. Довелося відімкнути мережу, а це перервало роботу установки на декілька днів. Були інші причини, перебої в подачі струму, неполадки вимикачів і генераторів, які живили обмотки магнетів тощо, що були спричинені грозою.

Багато матеріалів, які ми застосовували, були дуже цінними. Для запобігання їхнього нераціонального застосування було встановлено сувору звітність. Такі відходи як труби, тканина, фільтрувальні матеріали, папір, гумові рукавиці, одяг, збирали і ретельно зберігали, щоб згодом вилучити з них невеличку кількість урану, особливо його ізотопу – уран-235.

Вивчали також можливі втрати. Тому щочотири тижні на установках альфа-стадії і щодва – на установках бета-стадії проводили інвентаризацію.

На початку 1946 року було введено ще один метод перевірки – “детектор брехні”. Його застосовували переважно до персоналу, що мав доступ до хемічного корпусу, де одержували кінцевий продукт, щоб виявити крадіжки урану або інформацію про таку крадіжку. На перших випробуваннях був присутній сам винахідник приладу, а далі нам допомагав один з його помічників.

Величезна потреба одного з тих, що ми використовували, цінних матеріалів вимагало проведення особливої операції. Влітку 1942 року з

попередніх розрахунків стало зрозуміло, що нам потрібна величезна кількість провідного матеріалу для обмоток і шин. Оскільки, потреба оборонної промисловості в міді перевищувала її запаси в країні, американський уряд ухвалив рішення частково замінювати мідь, де це можливо, на срібло із запасів державної скарбниці.

З цієї причини полковник Маршалл відвідав другого секретаря скарбниці США Д. Белла. Той заявив, що він має в своєму розпорядженні 47 тисяч тонн вільного срібла і ще майже 39 тисяч тонн срібла, для використання якого потрібен дозвіл Конгресу. Я кажу тут про тонни срібла, хоча одиниця виміру цього металу була причиною невеликого потішного випадку, який трапився з Ніколсом, коли він під час переговорів згадав про п’ять–десять тисяч тонн срібла, яке нам було потрібно. У відповідь він почув: “Полковнику, у скарбниці не говорять про тонни. Одиницею ваги срібла є унція” (одна унція – майже 30 грам).

За умовою складеної угоди потрібне срібло ми мали одержати зі сховищ у Вест-Пойнті і повернути його за шість місяців після війни. Крім того, було передбачено, що пресі про цю операцію не буде повідомлено і, що скарбниця збереже його на своєму балансі. За винятком цього випадку, всі наші взаємостосунки зі скарбницею були найтепліші.

Жодна з приватних фірм із зрозумілих причин не могла взяти відповідальності за збереження такої кількості срібла, тому Мангеттенський інженерний округ був вимушений узяти цю відповідальність на себе. Це вимагало створення спеціальних окремих підрозділів для охорони та обліку срібла, установи особливої інспекції із залученням кваліфікованих консультантів і організації перероблення срібла в потрібні нам провідники.

Срібні злитки по відомості передали нам у Вест-Пойнті. Ми відправили їх на завод, де з них відлили стрижні, з яких уже виготовляли шини й обмотки. Для обмоток величезних магнетів витрачали найбільше срібла, одна фірма виготовила смуги, які були передані згодом фірмі “Елліс-Чалмерс”, де їх ретельно ізолювавши, намотували на стрижень магнетів.

На всіх етапах оброблення срібла спеціальна охорона Мангеттенського проекту спостерігала



за поведженням з ним і супроводжувала всі перевезення. Тільки перевезення готових магнетів ми вирішили не охороняти, оскільки срібні обмотки були приховані під важкою зварною оболонкою зі сталі. Розкрити цю оболонку коштувало багато праці, і ми переконалися в цьому, коли розбирали один з магнетів в Ок-Риджі. До того ж, ми не мали підстав не довіряти працівникам залізниць.

Попри величезну вартість срібла, ми прагнули обмежитись лише найпотрібнішими запобіжними засобами і, вживаючи їх, передусім прагнули замаскувати сам факт використання срібла.

Для цього застосовували кодовані комерційні документи, як адресати використовували невійськовий персонал. Природно, всі усні та письмові засоби передавання відомостей велися відповідно до встановленого порядку поведження з цілком таємною інформацією.

Кожну особу, яка пов'язана з цією діяльністю, попередньо ґрунтовно перевіряли, і ті, хто не пройшов її, не допускалися на територію, де велися ці роботи. Срібло, що містилося в зоні виробництва, охороняли цілодобово.

Звичайне спостереження за збереженням таємниці здійснювали працівники служби безпеки і розвідки місцевого округу інженерних військ. Спостереження за всією операцією з використання срібла вела особлива група працівників округу.

Система обліку срібла була дуже складна, оскільки вона мала відображати всі етапи перетворення 14 тисяч тонн срібла в різні вироби з точністю до останньої унції.

Для організації обліку було залучено одну відому нью-йоркську бухгалтерську фірму, що забезпечила постійну перевірку системи звітності.

Ми не робили ніяких дій з вилучення срібла з відходів доти, поки очікувана вартість вилученого срібла не стала така ж як витрати з його вилучення. Попри це, за весь час ми втратили лише 35 тисячних відсотка від повної кількості державного срібла, що було оцінено в 300 мільйонів доларів.

Електромагнетний процес створював деякі специфічні труднощі, оскільки уран – це і радіоактивна та отруйна речовина. Багато інших матеріалів, які використовували, також завдавали багато клопотів у поведженні з ними. У виробництві широко використовували установки з високими температурами і тиском і навіть такі небез-

печні речовини, як фосген. У великих кількостях застосовували зріджений азот, що має температуру кипіння -196°C . Для виробництва було характерне використання величезної кількості електроенергії. Тільки одна камера, а їх було 96 в кожному рейстреці альфа-стадії та 36 в рейстреці бета-стадії, споживала стільки ж енергії скільки величезна радіостанція.

Щоб гарантувати точне виконання норм техніки безпеки, які були встановлені в інженерних військах, і ще раз наголосити їхню важливість, я незадовго після початку робіт випустив додаткову інструкцію з техніки безпеки. За цією інструкцією, про кожний нещасний випадок треба було негайно телеграфом повідомити мене, а не пізніше ніж за добу після подати докладний рапорт із вказівкою всіх деталей і тих заходів, яких було вжито для запобігання подібних випадків у майбутньому.

Величезні складності з налагодженням устаткування, з усуненням неполадок, боротьба за підвищення продуктивності та ліквідацію втрат, невідповідність обслуги, що працювала серед ще не прибраного будівельного сміття, не змогли перешкодити фірмі "Теннессі Істмен" успішно справитися із завданням. Першу партію збагаченого урану було відправлено до Лос-Аламоса в березні 1944 року, тобто майже за рік після початку будівництва заводу. Концентрація цього урану була ще невисока, але достатня для експериментаторів, які чекали його з нетерпінням.

Найвідповідальніший момент настав незадовго перед скиданням бомби на Хіросіму. В листі Опенгаймерові, датований 3 липня 1945 року, Ніколс повідомив про кількість матеріалу, який буде відвантажений для Лос-Аламоса до 24 липня. Робота в Ок-Риджі стала ще гарячковішою, ніж звичайно, і до призначеного терміну запаси матеріалу навіть перевищили кількість, яку зазначив Ніколс.

Хемічні операції при електромагнетному процесі, зазвичай, подають як допоміжні порівняно з масштабною фізичною ідеєю всього проекту. Це не так. Адже, оскільки з хемії починався і хемією закінчувався будь-який процес розділення урану, ефективність усього виробництва залежала від хемічних виробництв не менше ніж від фізичних. Хеміки-учені та хеміки-технологи мали йти в ногу з новими відкриттями в галузі фізики. Вони



як і фізики, вимушені створювати виробництво, не маючи достатніх відомостей. Вони не могли зволікати, щоб не зірвати всієї програми. І вони, справді, жодного разу нас не підвели.

Газодифузійний процес (згодом його умовно назвали проект К-25), гігантський за масштабами багаступінчатий метод виділення урану-235 з урану-238, який ґрунтувався на явищі молекулярної дифузії, був абсолютно новим. Він полягав у тому, що якщо газоподібну сполуку урану прокачувати крізь пористу перегородку, то легші молекули, до складу яких входить ізотоп урану з атомною вагою 235, будуть проникати крізь перегородку швидше від важчих молекул, які містять уран-238. Основою всього методу була перегородка – пориста тонка металева мембрана, що мала декілька мільйонів мікроскопічних отворів на квадратний сантиметр. Ці мембрани згинали в труби і поміщали в герметичну порожнину – дифузійну камеру. Коли крізь каскад таких камер прокачували газоподібний гексафторид урану, останній поступово збагачувався легкою фракцією. Проте різниця мас молекул гексафториду урану-238 і урану-235 така мала, що для досягнення помітного збагачення цей процес треба було повторювати тисячі разів.

Основні наукові дослідження виконала лабораторія Колумбійського університету з умовною назвою СЕМ (спеціальні сплави), яку очолювали Юрі та Даннінг. У листопаді 1942 року ці дослідження комітет С-1 визнав наступними за важливістю після електромагнетного і плутонієвого проектів. Наступного місяця було укладено офіційний контракт з компанією “М. В. Келло” на проведення нею наукового розроблення, проектування, забезпечення устаткуванням і будівництва заводу з одержання урану-235 з продуктивністю і ступенем збагачення достатніми для створення бомби. Для зручності та забезпечення секретності ця компанія організувала окремий спеціальний філіал “Келлекс”, якому і була доручена вся робота за проектом. Між “Келлексом” і Колумбійським університетом встановилися тісні стосунки. “Келлекс” одержав від університету основні теоретичні відомості про процес і на їхній підставі організував проектування промислового підприємства.

Філіал “Келлекс” очолював висококваліфікований інженер Кейт. Спочатку планували дору-

чити “Келлексу” і будівництво заводу, проте я, враховуючи обсяг потрібних наукових проектних робіт, перешкодив цьому. Контракти на будівництво було укладено з фірмою “Джонс компані” зі штату Північна Кароліна, яку я знав раніше за належним виконанням робіт для армії. Експлуатацію передбачали доручити компанії “Юніон карбайд”. Загальне керівництво нашими роботами в цій компанії здійснювали її віце-президент Дж. Реферті та Л. Блісс, а експлуатацією безпосередньо керував Фелбек.

Ми знали, що потреба в енергії заводу К-25 буде висока. Багато місяців до спорудження і після спорудження заводу ми помилково були переконані, що якщо подача електроенергії припиниться хоча б на частку секунди, то завод не можна буде запустити знову протягом багатьох днів. Деякі називали навіть термін – два з половиною місяці. Як з’ясувалося згодом, це припущення було хибне. Проте всі наші проекти були побудовані з урахуванням цього. Зокрема з цієї причини ми не зважилися покладатись лише на гідроелектростанцію Теннессі, лінія передачі якої виходила досить довга і, отже, схильна до різних випадковостей. Додатково в Ок-Риджі було побудовано спеціальну теплову електростанцію, яка водночас задовольняла ще, правда, не таку велику потребу заводу в електроенергії нестандартної частоти. Використовування струму нестандартної частоти було досить часто явищем на заводах Мангеттенського проекту. Ми не могли йти на полегшення задачі, використовуючи устаткування, розраховане на використання струму стандартної частоти, оскільки це означало б ризикувати.

Для захисту нашого енергопостачання від випадковостей, електроенергію від теплоелектроцентралі до газодифузійного заводу подавали підземним кабелем. Однак один випадок шкідництва все-таки був. Форма його, правда, була однією з примітивних: у гумову оболонку силового кабелю було забито цвях. Злочинця нам так і не вдалося знайти. Найімовірніше, це зробив якийсь озлоблений працівник.

Головна складність під час будівництва цього заводу, якої ми не могли усунути майже до кінця 1944 року, була пов’язана з виготовленням матеріалу для мембран – основи всього процесу. Затримка з одержанням цього матеріалу не давала



змоги нам вмонтувати устаткування заводу. Щоб мати цю складність, досить зазначити, що на будівництво і замовлення спеціального устаткування вже було витрачено майже 200 мільйонів доларів, а ще ніхто не знав, чи зможемо ми одержати достатню кількість матеріалу для мембран. Однак попри таку серйозну небезпеку, ми форсували будівництво найбільшого в історії заводу, лише приміщення якого мали площу понад чотири тисячі гектарів.

Перше успішне розділення ізотопів урану методом газової дифузії було здійснено в Колумбійському університеті в січні 1942 року, а перша велика лабораторна установка була зібрана лише в жовтні. Мембрана цієї установки була не більша від срібної монети один долар. Для випробування окремих вузлів заводу згодом будували різні дослідні установки, проте повна напівпромислова модель заводу так і не була створена. Ок-риджський завод був унікальним. Його проект було створено на підставі досвіду експлуатації установки з мембранною площею менше ніж 13 квадратних сантиметрів. Проте цінність навіть цього досвіду стала дуже сумнівною, коли з'ясувалося, що використаний у дослідній установці матеріал не вдасться застосувати в умовах заводу. Основна заслуга компанії "Юніон карбайд" у період проектування та будівництва заводу полягала якраз у розробленні задовільного матеріалу для мембран і в організації його масового виробництва за десять місяців після створення.

Проблема розроблення та виготовлення насосів для прокачування газу крізь дифузійні секції була розв'язана компанією "Елліс-Чалмерс". Кейт буквально обнищпорив всю промисловість США і дійшов висновку, що єдиною нашою надією може бути тільки ця компанія. При першій розмові її представники не були схильні братися до роботи переважно через переваження іншими військовими замовленнями. Тоді Кейт попросив декількох фахівців з "Юніон карбайд" і мене поїхати до Мілуокі, щоб переконати "Елліс-Чалмерс" прийняти наше замовлення. Ця компанія вже брала участь у роботах проєкту, займаючись виробництвом гігантських магнетів для електромагнетного заводу, і її президент недоброзичливо сприйняв наші нові прохання.

Урешті-решт він дав згоду на перемовини з головним інженером. Яким же було наше здивування, коли головний інженер заявив, що можна виконати це замовлення: компанія вже виготовляла насоси такого типу, правда, дещо меншої потужності. Договір компанія виконала бездоганно.

Дорогою із Мілуокі нам довелося заночувати в Чикаго. У номері готелю ми гаряче обговорювали чергову важливу проблему: як запобігти небезпеці виходу з ладу однієї з багатьох секцій. Стежачи за дискусією, я здивувався: чому не можна просто відімкнути ту, що вийшла з ладу, будуючи секцію. Відмінність у складі газу в двох сусідніх секціях мала бути нікчемно малою, тому я не розумів, як можуть далі секції "відчути" вимкнення однієї з попередніх. Питання, поставлене наче ненароком, насправді відразу підказало відповідь. Цей випадок є прикладом того, як часто виникає ситуація, коли правильне рішення спадає на думку сторонньому, а не тому, хто довго б'ється над ним.

Щоб зменшити наслідки корозії, ми збирались виготовляти всі трубопроводи загальною довжиною сотні кілометрів з чистого нікелю. "У цьому випадку, – зазначив К. Кілер, керівник компанії "Крейслер", яка мала виготовляти дифузійні секції, – наші потреби в нікелі перевищать його світове видобування". Він наполягав на товстому (до 10 сантиметрів) нікелевому покритті. Безпрецедентне само собою завдання – покриття товстим шаром нікелю внутрішньої поверхні труб, розв'язала одна невелика фірма в Белльвіллі (штат Нью-Джерсі). Ця фірма винайшла оригінальний спосіб нікелювання, при якому як електроліз використовували саму трубу. Для одержання однорідного покриття труба під час процесу оберталась. Винахідливість цієї фірми вберегла нас дуже складної проблеми.

Нам були потрібні прилади для реєстрації різних ізотопів одного й того ж хемічного елемента. Ця вимога була також безпрецедентною в історії науки. До того ж, існувала ще проблема регулювання потоку газу всередині дуже чутливої до коливань тиску системи величезної протяжності. Ця небезпека хвилювала мене менше ніж інших, і, ймовірно тому, що я підходив до неї як інженер, а не як теоретик. Думка багато кого з англійських учених була песимістичною. Майже не можна добитися такого регулювання потоку, при якому



б не виникали коливання і внутрішні збурення в системі, – вважали одні. Утворені в результаті цих збурень хвилі дуже знижуватимуть ефективність установки і навіть зможуть пошкодити мембрани. Інші заявляли, що установка не зможе працювати.

Нам треба було бути абсолютно впевненими в тому, що в трубопроводах протяжністю сотні кілометрів, особливо в місцях їхнього зварювання, натікання повітря всередину системи буде не більше, ніж крізь отвір від шпильки. Це завдання розв'язали інженери промислових фірм. Застосування вдосконаленого гелієвого течеукача дало змогу встановлювати дуглину в кожному відрізку системи труб ще до її монтажу. Ми не могли допустити навіть щонайменшої негерметичності системи, тому довелося розробити нові методи зварювання. Як тільки важливість абсолютної герметичності всієї системи стала для нас очевидною, ми не зупинилися ні перед чим, щоб досягти її. Зокрема були організовані спеціальні курси для працівників фірм, які пов'язані з виготовленням устаткування для заводу К-25 або його експлуатацією.

Дуже важливе питання, пов'язане з газодифузійним заводом, виникло, коли наукова рада з техніки безпеки попередила нас про можливість випадкового вибуху матеріалу, що ділиться, при скупченні його де-небудь всередині системи. Цим побоюванням була приділено найпильнішу увагу, хоча я сумнівався в їхній оцінці цієї небезпеки. Мене підтримали Ніколі, Конент і Толмен. Порада, з нашого погляду, перебільшувала небезпеку. Обговоривши це питання ще з Фелбеком і Кейтом, ми вирішили ігнорувати поради.

Очищення устаткування перед його установкою мало вирішальне значення, тому ми прагнули проводити її за правилами, як у хірургії. Вона полягала в повному видаленні з виробів бруду, жиру, окислу, окалини та інших побічних домішок. Присутність будь-якої з них, навіть у нікчемних кількостях, могло призвести до повного провалу всієї програми.

Методи очищення розробила компанія “Крейслер”. Кожний з цих методів був відомий і раніше, але застосування їх у визначеній комбінації та послідовності робило їх незвичайним. Залежно від типу деталей застосовували до десяти операцій очищення. Деякі деталі очищали на фабриці під

спостереженням працівників філіалу “Келлекс”. Велику частину їх, проте, треба було очищати безпосередньо перед монтажем, і тому на заводі К-25 довелося побудувати спеціальний цех очищення.

Поряд із ретельним очищенням деталей і вузлів устаткування загальні вимоги до чистоти під час монтажу були такі строгі, що спочатку вони навіть заважали темпам будівництва. Всі працівники перед входом у відповідні будівлі мали переодегатись в чистий одяг. На початку цю вимогу мали виконувати всі без винятку. Ми мали виконувати це правило, навіть якщо просто виходили погуляти на декілька хвилин. Робилося все можливе, щоб повністю позбутися бруду і пилу.

Складаючи графік будівництва, ми виокремили п'ять основних етапів:

1. Споруда однієї секції в головному каскаді.
2. Закінчення споруди всього виробничого корпусу;
3. Здача в експлуатацію значної частини всього заводу, що дає змогу одержувати легкозбагачений матеріал (термін для третього етапу був 1 січня 1944 року, ми призначили 1 січня наступного року).
4. Закінчення будівництва решти корпусів заводу, що мало забезпечити одержання максимальної кількості урану-235 для його використання в першій бомбі.
5. Закінчення будівництва всього заводу і досягнення його проектної потужності.

Одержати легкозбагачений уран до 1 січня 1945 року не вдалося. Проте решта намічених завдань було виконано вчасно (у розпалі будівельних робіт штат об'єкту К-25 становив майже 25 тисяч осіб. Вартість проектування, конструкторських робіт і устаткування на кінець 1946 року становила 253 мільйони доларів. Повна вартість робіт, виконаних за договорами, дорівнювала 275 мільйонам доларів).

У тому вигляді, в якому газодифузійний процес було здійснено, – це було повністю американське досягнення. Англійцям повідомили тільки деякі загальні його характеристики. Слід нагадати, що перші роботи в цьому напрямі почалися в Англії, хоча вони і не вийшли за межі теорії та лабораторних експериментів.

Навесні 1942 року в США було проведено



декілька попередніх конференцій за участю представників Англії Ейкерса, Саймона і Пайерлса, на яких обговорювали основні закономірності методу газової дифузії та можливі типи виробничих установок. Проте англійський погляд на проєкт заводу дуже відрізнявся від нашого, як і методи та устаткування, які пропонували ми. Із цих причин обговорення не могло мати для нас скільки-небудь серйозного значення.

Восени 1943 року англійці прислали до США групу учених та інженерів для ознайомлення з нашими планами робіт із газодифузійного методу. Вони пробули у нас від вересня до кінця 1943 року, вивчивши докладно наші проєкти, і не погодилися з тим шляхом, який ми обрали. На думку багатьох наших фахівців, це пояснювалося тим, що наш проєкт був заснований не на їхніх теоретичних розробках. Проблема вибору матеріалу для мембрани обговорювали з англійцями докладно, проте це не вплинуло на наш вибір.

У грудні 1943 року англійці запропонували розглянути змогу здійснити круговий цикл, тобто напрями одержаного продукту знов у першу секцію каскаду. Теоретично така пропозиція виглядала дуже привабливою, оскільки вона давала змогу істотно скоротити кількість секцій. Утім це підвищувало вимоги до мембран, які до того часу, попри роки досліджень, так і не були розроблені. Ця пропозиція дуже ускладнювала конструкцію конвертора та експлуатацію окремих секцій.

Я категорично заперечував проти будь-яких серйозних змін у проєкті, бо це затримало б будівництво заводу.

Англійська група запропонувала проєкт заводу у вигляді каскаду каскадів. За цим проєктом, завод мав складатися не з одного довгого каскаду, а з декількох частин, кожна з яких є окремим каскадом, які сполучаються з сусідніми частинами. Така схема була дуже складна і тому мала низку недоліків. Американський варіант проєкту здавався нам цілком задовільним. Ми, правда, вивчили пропозиції англійців у всіх деталях, щоб переконатися в правильності нашого рішення. Обговорення з ними питань конструкції заводу було особливо корисне для пошуків способів регулювання і ліквідації порушень у режимі експлуатації заводу. Англійці вносили й інші пропозиції, але жодне з них не було прийнято. Основна ко-

ристь від цих пропозицій зводилася до стимулювання мислення і діяльності інженерів "Келлекса".

Відлютого до травня 1944 року декілька вчених з англійської групи надали нам допомогу в розв'язанні низки теоретичних питань. Це були Пайерлс, Кіртон, Ськайрн і Фукс. Вони жили в Нью-Йорку і користувалися правом роз'їжджати по всій країні.

Я вже згадував, що першим процесом розділення урану, з яким я ознайомився після призначення, був процес рідинної термодифузії. Процес відбувається в колоні, що є довгою вертикальною трубою, яку охолоджують ззовні й яка містить всередині нагрітий циліндр. Ефект розділення ізотопів у такій колоні зумовлений тим, що легша фракція нагромаджується у гарячій поверхні внутрішнього циліндра і рухається догори внаслідок закону конвекції.

Із практичного погляду, цей метод не годився як головний, оскільки він вимагав величезної кількості пари. За грубими мінімальними підрахунками, вартість такого виробництва досягала майже двох мільярдів доларів, але й вона не здавалася мені достовірною. Якби довелося здійснювати цей процес, я б збільшив її до трьох мільярдів. Масштаби дослідницьких робіт, які провів у цьому напрямі Абельсон, хоча й на високому науковому рівні, були вельми обмежені.

Він почав свої роботи в Інституті Карнегі у Вашингтоні, й уже влітку 1941 року одержав деяку кількість урану-235. Зацікавлення військово-морського флоту його роботами було пов'язане зі сподіванням одержати нове джерело енергії. Тому військово-морський флот відразу підтримував його дослідження, – спочатку в Інституті Карнегі, а згодом надав йому змогу працювати в своїй дослідницькій лабораторії. Там ці роботи велися декілька років.

У червні 1944 року Оппенгаймер висловив припущення, що метод термодифузії було б непогано застосувати на першій стадії розділення для одержання легкозбагаченого продукту, який далі можна було б використати як вихідний матеріал на інших заводах. Наскільки мені відомо, Оппенгаймер був першим, хто оцінив переваги такого прийому. Я, не коливаючись, вирішив, що ця ідея гідна того, щоб випробувати її на практиці.

Чому ніхто про це не подумав раніше, мені важко сказати. Ймовірно тому, що коли ми вив-



чали метод термодифузії, то ми розглядали його як єдиний, забуваючи про можливість комбінувати різні процеси. Подібний крок було зроблено згодом, коли ми вирішили обмежити ступінь збагачення продукту газодифузійних заводів і використовувати його як вихідний матеріал для бета-стадії електромагнетного способу.

Якби я раніше роздивився можливості термодифузії, ми б швидше застосували цей метод, витратили б на будівництво заводу трохи більше часу, зате він був би потужнішим і кращим. Це напевно позитивно вплинуло б на рівень виробництва урану-235 у червні та липні 1945 року. Чи допомогло б це закінчити війну швидше, я не можу стверджувати, проте ніяк не могло вплинути на термін випробування в Аламогордо, оскільки там була використана бомба імпульсноподібного (вибухового) типу з плутонію. Навіть у тому випадку, якщо б продуктивність уранового заводу була до того часу вища, ми не змогли б піти на використання урану-235 під час випробування.

За декілька днів після того, як Оппенгаймер висловив свою пропозицію, ми приступили до його реалізації. Тоді військово-морський флот вже будував напівпромислову установку на своїй верфі у Філадельфії. Вона була майже готова і методи її експлуатації були відпрацьовані.

Щоб в обмежено короткий термін запустити, подібний до цієї установки, великий завод, ми вирішили доручити цю операцію фірмі "Фергюсон", і 26 червня 1944 року, в день, коли договір з нею було підписано, адмірал Кінг, на моє прохання, наказав передати їй всі плани робіт флоту.

Щоб полегшити проектування і будівництво я наказав, щоб усі основні виробничі вузли нашого заводу були копіями філадельфійської установки. Багато часу ми заощадили, використавши робочі ескізи замість прийнятих докладних креслень.

Ми поспіхом вибирали можливі місця розміщення заводу, згадували Детройт, проте ми зупинились на Ок-Риджі, вирішивши побудувати завод по сусідству з тепловою електростанцією заводу К-25. Таке розташування поєднувала перевага використання резервів пари, що вже був, з близьким розміщенням до заводу К-25, який мав працювати на продукті термодифузійного заводу. До того ж, ми прагнули не будувати нових закритих об'єктів на нових територіях. Це виробництво одержало секретну кодову назву S-50.

Коли було вирішено питання про місце будівництва нового заводу, компанія "Юніон карбайд" висловила побоювання, вказавши на можливість вибуху пари високого тиску, яким мав забезпечуватись цей завод, й на наслідки такого вибуху для роботи заводу К-25. Вони також побоювалися, що промислова вода електростанції виявиться зараженою продуктом заводу S-50, що може спричинити порушення роботи електростанцій.

Небезпеці руйнівного вибуху пари я не надавав великої ваги, а, щоб уникнути можливості забруднення води, ми передбачили низку контрольно-регулювальних пристроїв. Головним устаткуванням заводу були колони, об'єднані в каскади (по 102 колони), які ми називали ґратами. Колона була вертикальним циліндром заввишки 15 метрів і складалася з нікелевої труби, яка проходила всередині мідної труби більшого діаметра. Мідна труба із зовнішнього боку була оточена водяною сорочкою. Колони мали в своєму розпорядженні три групи, в кожній по сім ґрат, що становило 2142 колони. Колони лабораторії військово-морського флоту були нестандартні, і їхня кількість невелика. Компанія "Фергюсон" мала, проте, організувати їхнє масове виробництво. Було опитано майже 20 фірм, але жодна з тих, кому можна було довірити виробництво колон, не погодилась виконати замовлення. Врешті-решт дві фірми погодилися спробувати. Подолавши деякі труднощі, вони змогли розробити метод виробництва, що дав змогу виготовляти до 50 колон за день. 5 липня, тобто за дев'ять днів після укладення контракту, компанія "Фергюсон" надіслала замовлення на першу партію колон, а 9 липня вже почали розчищати майданчики під будівництво заводу.

У серпні розпочали стажування обслуги в дослідницькій лабораторії військово-морського флоту, а у вересні відбувся потужний вибух на напівпромисловій установці. Постраждала людина і було зруйновано багато вузлів. Ми були переконані, що вибух відбувся з не залежних від нас причин (як згодом з'ясувалося), але ця подія вимагала ретельного розслідування і, звичайно, дещо затримало роботу.

Потреба мати готовий продукт якомога раніше диктувала нам суворі терміни будівництва. Навіть термін шість місяців для споруди головного виробничого корпусу здавався багатьом оптимістичним, а я відвів на будівництво 120 днів. Під час будівництва



цього заводу ми користувалися вищими пільгами у постачанні та в усьому іншому. Монтажники, трубопровідники, зварювальники, електрики, теслярі та експлуатаційний персонал разом у шаленому темпі працювали на суміжних ділянках. Як тільки така-ляжники встановлювали колону на місце і монтажники закінчували її збирати, колону відразу випробовували під тиском й експлуатаційний персонал очищував її. За 69 днів після початку будівництва третину заводу було закінчено і почалася його пробна експлуатація. До кінця жовтня колони видали першу партію продукту, а в червні наступного року завод досягнув розрахункової максимальної потужності.

Спочатку експлуатація заводу була добре не відлагоджена. Дуже заважала повна відсутність досвіду експлуатації напівпромислової установки, нестача підготовленого персоналу і, як несподівано з'ясувалося, недостатня кількість пари. Нас переслідували витоки робочого матеріалу і пари високого тиску. Лише до січня 1945 року вдалося повністю подолати всі труднощі.

Застосування пари високого тиску (до 60 ат) було ризикованим заходом, особливо, якщо зважити на те, що устаткування виготовляли і вмонтовували з таким поспіхом. Витікання, яке нам так заважало, вдалося б, напевно, уникнути, якби ми мали більше часу на роботу над проектом.

На одних ґратах через поквапливе їхнє збирання особливо сильно витікала пара високого тиску. Утворені хмари пари і шуму дуже ускладнювали роботу персоналу. Ми, проте, не зупиняли цієї частини заводу, попри умови, які в звичайний час вимагали б негайного припинення виробництва. Лише тоді, коли завод досягнув максимальної проектної потужності ми відімкнули ці ґрати для ремонту.

До жовтня стало очевидним, що через з'єднання вгорі та в підніжжі колон виходить дуже багато пари. Тому ми вирішили замінити всі різьбові з'єднання зварними. До січня всі ґрати були вже переобладнані, й знову готові до виробництва.

Із введенням в експлуатацію різних заводів Ок-Риджа нас дедалі більше хвилювало питання про найефективніше їхнє використання. Проблема загалом була надзвичайно складна не лише через

постійну зміну продуктивності та ступінь збагачення окремих установок, а й через те, що продукт одного процесу був вихідним матеріалом іншого і це співвідношення могло також змінюватися. До того ж, у міру того, що вводять до ладу додаткове устаткування, а, з весни 1945 року, це відбувалося майже щодня, продуктивність також збільшувалася, що впливало на ефективність установок, які працювали на збагаченому матеріалі. Ми знали, що в процесі експлуатації можна підвищити продуктивність, але результати нам важко було передбачати.

Оскільки правильне розв'язання цього завдання було визначальним для успіху всього підприємства, я попросив Ніколса зосередити максимум уваги на її розв'язанні. Для цього він у грудні 1944 року організував спеціальну групу з учених та інженерів, переважно офіцерів або мобілізованих до армії, під керівництвом майора Пітерсона, завданням якої було вироблення оптимального плану експлуатації заводів з обліком змін усіх характеристик окремих процесів.

Ця група почала працювати, коли точна кількість урану-235, потрібна для створення бомби, була ще не відома. Пітерсон неодноразово обговорював з Оппенгаймером питання про важливість кількості потрібного матеріалу і ступеня його збагачення. В результаті ступінь збагачення було встановлено. Під керівництвом Пітерсона група змогла також розробити якнайкращий варіант використання електромагнетних газодифузійного та термодифузійного заводів. План роботи безперервно змінювався з підвищенням продуктивності та змін термінів запуску в дію нових об'єктів.

До травня 1945 року стало очевидно, що зроблені ще до Ялтинської конференції розрахунки, були правильні й що наприкінці липня ми вже матимемо достатню кількість урану для створення однієї бомби.

Після ретельного аналізу ситуації спільно з Ніколсом, Пітерсоном та Оппенгаймером день 24 липня було встановлено як остаточний термін. До кінця цього дня достатня (навіть дещо більша) кількість урану було відправлено до Лос-Аламоса для виготовлення першої бомби, яка була призначена для Японії?...

За книжкою: Лесли Гровс. Теперь об этом можно рассказать. – М.: Атомиздат, 1964. Сокращенный перевод с англ. О. П. Бегичева с издания: The story of Manhattan project. By Leslie R. Groves, Lieutenant General, U.S. Army, Retired. – Harper & Brothers Publishers, New York



ЦЕГЛИНА – МАТЕРІАЛЬНИЙ ОБ'ЄКТ

Навчаючись у Принстоні, Річард Фейнман із цікавості відвідував лекції з різних предметів.

Якось він побував на лекції з філософії.

Професор його запитав: “Містере Фейнман, електрон – це матеріальний об'єкт?” Р. Фейнман, не знаючи філософії, почав міркувати, що електрон – це теорія, яку ми використовуємо, щоб краще зрозуміти як працює природа. Щоб пояснити це, він вирішив навести аналогію з цеглинкою, і запитав:

– Цеглина – це матеріальний об'єкт?

Один студент встав і сказав:

– Цеглина – це окремий, специфічний об'єкт. Саме це і є матеріальним об'єктом.

Другой студент додав:

– Ні, матеріальний об'єкт – це не окрема цеглина. Матеріальним об'єктом є їхній спільний характер, їхня “цеглинність”.



ГУМОР

Третій студент встав і мовив:

– Ні, самі цеглинки не можуть бути матеріальним об'єктом. Матеріальний об'єкт – це ідея в голові, яка у вас з'являється, коли ви думаете про цеглину.

Тоді встав ще один студент, тоді ще, і ще... Фейнман ніколи не чув так багато думок про цеглинку. І, як це мало бути в усіх історіях філософії, усе закінчилось повним хаосом. В своїх попередніх міркуваннях, вони навіть не задумувались над тим, чи є “матеріальним об'єктом” такий простий об'єкт, як цеглина, не кажучи вже про електрон.

СХЕМА КІШКИ

Якось Р. Фейнман був присутній на лекції з біології. На ній говорили про нервові імпульси. Студенти дали йому ознайомитись зі статтею, де було написано, що нервові імпульси – це однопульсові явища з різкими краями. Було проведено експерименти з котами, в яких вони виміряли електричну напругу на нервах. У статті йшлося про екстензори і флексори, мускули тощо, як називається той чи той мускул, а Фейнман не мав жодного уявлення, де вони розміщені стосовно нервів чи кішки. Тому він пішов до бібліотекарки біологічного факультету і запитав її, чи не може вона розшукати для нього схеми кішки.

– Схеми кішки, сер? – запитала вона з жахом. – Ви маєте на увазі зоологічний атлас?!

Відтоді пішли чутки про тупого дипломника-біолога, який розшукував схему кішки.

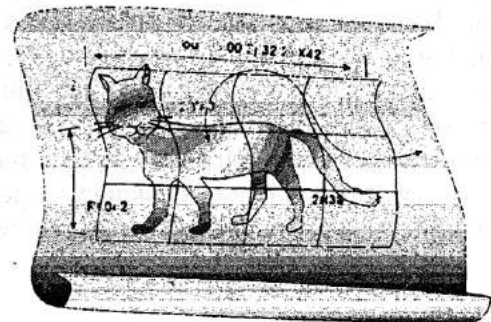
Коли Фейнман доповідав з цього предмета, він спочатку намалював контури кішки і почав називати різні мускули.

Інші студенти в аудиторії перебили його:

– Ми ж все це знаємо!

– О, то, ви знаєте це? Тоді не дивно, що я можу наздогнати вас так швидко після чотирьох років заняття біологією.

Вони гайнували час на запам'ятовування дурниць, наприклад, такої як ця, яку можна було б розглянути за 15 хвилин.





К О Н К У Р С
**„НАЙКРАЩА НАУКОВО-
 ПОПУЛЯРНА
 СТАТТЯ З ФІЗИКИ”**

Журнал “Світ фізики” до Всесвітнього року фізики 2005 року оголошує конкурс на найкращу науково-популярну статтю з фізики. Запрошуємо до конкурсу молодих науковців, студентів та обдарованих школярів. Матеріали надсилайте на адресу редакції журналу. Найкращі праці будуть опубліковані в журналі “Світ фізики”. Переможців чекають призи.

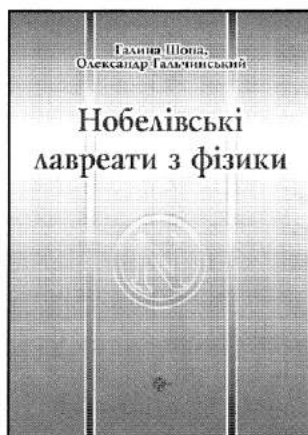
Королук С. Л., Мельничук С. В, Валь О. Д. Основи статистичної фізики та термодинаміки. Підручник. – Чернівці: Книги – XXI, 2004. – 348 с.

У підручнику викладено основні питання термодинаміки та статистичної фізики, що відповідають програмі фізичних факультетів університетів і педагогічних інститутів. Термодинаміку розглядають як наслідок основних принципів статистичної фізики. Особливу увагу приділено висвітленню фізичного змісту одержаних співвідношень, що поряд із докладними математичними викладками дає змогу читачеві самостійно засвоїти матеріал.

Для студентів фізичних спеціальностей університетів та інших вищих навчальних закладів, де вивчають курс термодинаміки і статистичної фізики.

Степан Королук
 Степан Мельничук
 Олександр Валь

**ОСНОВИ
 СТАТИСТИЧНОЇ
 ФІЗИКИ
 ТА ТЕРМОДИНАМІКИ**



Галина Шопя, Олександр Гальчинський. Нобелівські лавреати з фізики. – Львів: “Євросвіт”, 2005. – 750 с.

Із серії книжок “Бібліотека молодого науковця”

У книжці містяться біографічні відомості про науковців, які були нагороджені Нобелівською премією з фізики за понад 100-річний період (1901–2004), їхні наукові досягнення в різних галузях фізики, фізичні відкриття, явища, ефекти тощо. Подано матеріали про Нобелівські комітети, історію створення фонду та засновника самого фонду – Альфреда Нобеля. Книжка проілюстрована фотографіями фізиків, які стали Нобелівськими лавреатами.

Для науковців, аспірантів, студентів, учителів, школярів та усіх, хто цікавиться фізикою.

Приймаємо замовлення на книжки

та журнал “Світ фізики”

за адресою:

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





МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



Ф. С. Красицький
(1873–1944) У свято. 1902.

Фотій Степанович Красицький (1873–1944) — особа дуже примітна. Онук сестри Тараса Шевченка Катерини, Красицький ще змалку увійшов у сім'ю композитора Миколи Лисенка. Художню освіту майбутній художник здобув у Петербурзькій Академії мистецтв, його наставником був Рєпін. Молодий живописець товаришував з М. Старицьким, І. Тобілевичем, був близьким приятелем Лесі Українки. Прекрасні портрети Лесі пензля Ф. Красицького залишилися пам'яткою цієї дружби. Художник добре знав Івана Франка: 1914 роком датовано його натурний портрет — останнє прижиттєве зображення поета.

У 1888–1892 роках Ф. Красицький навчався у Київській рисувальній школі М. І. Мурашка, з 1903 року постійно працював у Києві: викладав у художньому училищі (1912–1920) та в художньому інституті (1927–1939, з перервами). "Гість з Запоріжжя" (1901) — одне з перших великих полотен художника. Це була конкурсна робота при закінченні Академії, цією картиною він відразу став посеред найкращих українських живописців. Наукове товариство імені Шевченка придбало картину з виставки 1905 року, і незабаром вона зайняла своє місце в постійній експозиції Львівського музею українського мистецтва.

До видатних творів українського історичного жанру належить полотно Ф. Красицького "У свято". Це побутова сценка із життя українського народу. Авторська теплота трактування сюжету, досягнута, зокрема, завдяки майстерності передачі стану природи. Твори художника зберігаються в Національному художньому музеї.

Марки, випущені до Міжнародного року фізики

