

С В І Т

# ФІЗИКА

науково-популярний журнал

№3  
2001

F.D. Roosevelt,  
President of the United States,  
White House  
Washington, D.C.

August 2nd, 1939

Sir:

Some recent work by E. Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which would require us to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is proper to bring this matter to your attention the following facts and recommendations:

In the course of the last four months it has been made probable - through the work of Joliot in France as well as Fermi and Szilard in America - that it may become possible to set up a nuclear chain reaction

of considerable magnitude which would generate large quantities of power and large quantities of heat.

It is estimated that the construction of such a reactor in the immediate future would be possible. A single bomb of this type, if constructed, might very well destroy a large part of the surrounding territory.

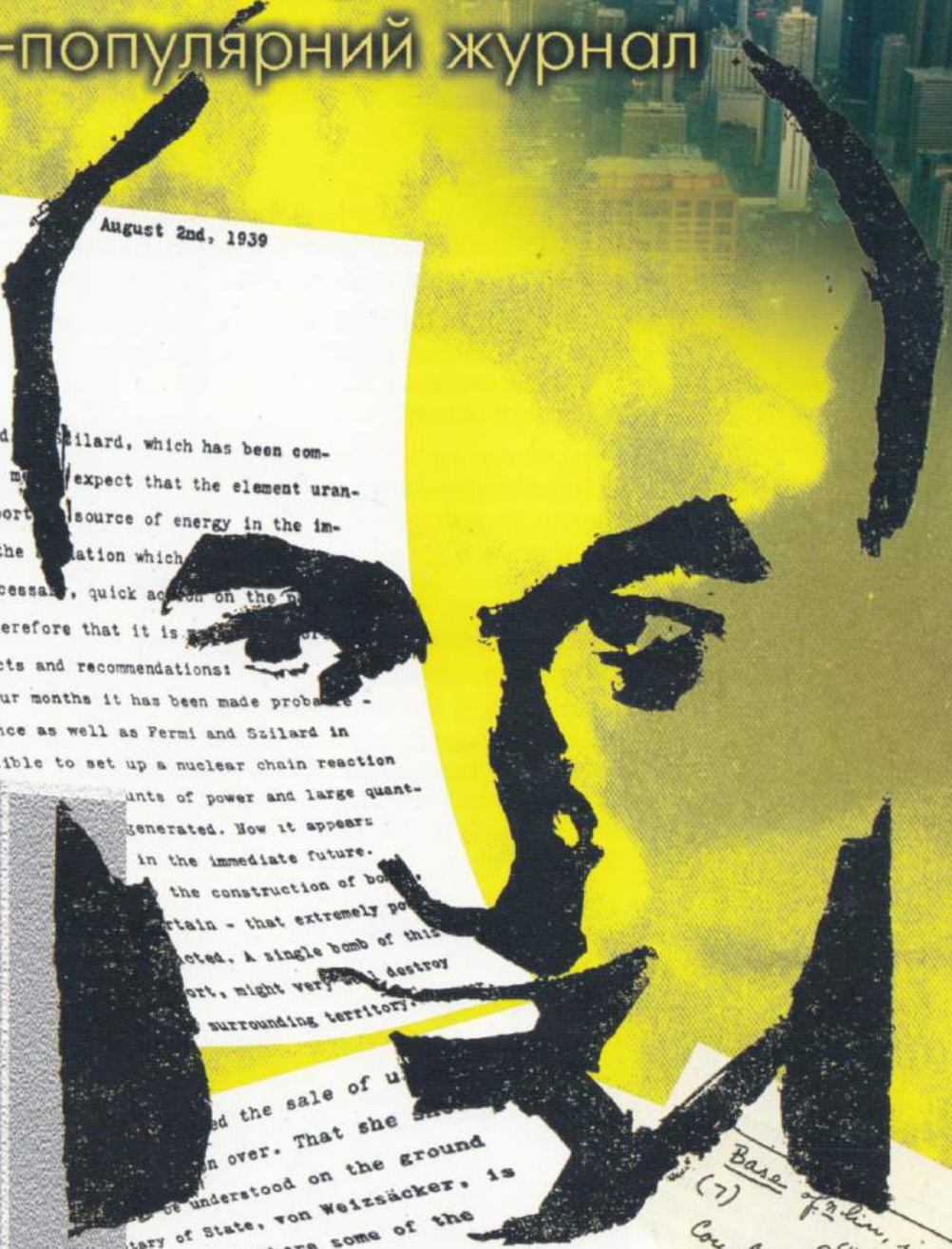
The sale of uranium in the United States should be controlled. That she should be understood on the ground of the Secretary of State, von Weizsäcker, is a matter of great importance. It is to be understood that in Berlin where some of the experiments are being repeated.

Yours very truly,

Albert Einstein

*Swiss*

Тут 2 грудня 1942  
людина вперше здійснила  
самодітримувальну ланцюгову  
реакцію і тим започаткувала  
оволодіння вивільненою  
ядерною енергією



Base of  $f_n$  lin, indip  
(7)  $e^{(1)}, e^{(2)}, \dots, e^{(n)}$   
Condition: no linear comb of  
... has all coeff are zero  
(9)  $f = \sum a_i e^{(i)}$   
Optimal normal base  
(10)  $f = \sum a_i e^{(i)}$   
If (10) then  $(e^{(i)} | f) = 0$   
(11) and  $(e^{(i)} | e^{(j)}) = \delta_{ij}$   
Determinant by solving  
det

# УКРАЇНА ЧЕКАЄ ЮНИХ ФІЗИКІВ СВІТУ!

В Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова 11 жовтня 2001 року відбулась нарада організаційного комітету з проведення XV Міжнародного турніру юних фізиків.


Водночас з нарадою Міжнародного оргкомітету в Рішельєвському ліцеї проходила III Відкрита комплексна олімпіада з фізики, математики, хімії та біології, в якій взяли участь понад 120 школярів майже 20 міст України, Польщі, Молдови. Учасники Міжнародного організаційного комітету ознайомились з різними формами роботи з обдарованими школярами в Україні.

Ідею проведення міжнародного турніру юних фізиків в Україні підтримали: Міністерство освіти і науки України, Одеська обласна держадміністрація, Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, Рішельєвський ліцей, Європейське фізичне товариство.

Зважаючи на суспільне зацікавлення, стан розвитку фізики в Україні та добрі традиції Всеукраїнських турнірів юних фізиків, поважний міжнародний комітет прийняв рішення, що XV Міжнародний турнір юних фізиків відбудеться в Україні. Турнір проходитиме у травні-червні 2001 року в м. Одесі.

В Україну приїде багато школярів з різних країн світу. І ми матимемо добру нагоду ознайомити їх з історією, культурою, традиціями нашої країни, досягненнями української науки.

Уже впродовж п'яти років журнал „Світ фізики” висвітлює і популяризує Всеукраїнські та Міжнародні турніри юних фізиків і буде одним з головних інформаційних джерел цього форуму.



*Під час наради оргкомітету.  
Одеса. 12 жовтня 2001 р.*



*Команда школярів з Польщі*



*Обговорення завдань турніру*

Журнал „Світ фізики” інформуватиме наукову та освітянську громадськість України про підготовку, учасників та всі важливі події XV Міжнародного турніру юних фізиків.

**Звертаємось до меценатів з проханням підтримати належне проведення XV Міжнародного турніру юних фізиків в Україні.**

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

Виходить 4 рази на рік

**Засновники:**

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

Головний редактор

**Іван Вакарчук**

заступники гол. редактора:

**Олександр Гальчинський**

**Галина Шопа**

Редакційна колегія:

**О. Біланюк**

**М. Бродин**

**П. Голод**

**С. Гончаренко**

**Я. Довгий**

**І. Климишин**

**Ю. Ключковський**

**Б. Лукіянець**

**Ю. Ранюк**

**Й. Стахіра**

**Р. Федорів**

**Я. Яцків**

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

**Мирослава Прихода**

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

**Адреса редакції:**

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005

Україна

тел./факс 380 322 40 31 88, 40 31 89

sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

**Журнал „Світ фізики”**

– популяризує українських учених та  
їхні наукові здобутки;

– досліджує актуальні проблеми науки  
та освіти;

– вивчає маловідомі сторінки історії  
науки;

– висвітлює олімпіади, турніри, інші  
творчі змагання школярів;

– знайомить читачів з новинами в  
науковому та освітянському житті  
України;

– допомагає школярам та учителям у  
поглибленому вивченні фізики;

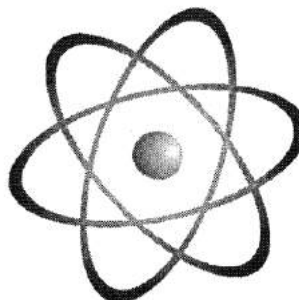
– утверджує сучасну українську науково-  
технічну термінологію;

– здійснює просвітницьку роль серед  
широких верств;

– друкує перші наукові праці школярів  
та студентів;

– формує естетичні смаки.

*Не забудьте  
передплатити журнал  
„Світ фізики”*



**Передплатний індекс**

**22577**

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

© СП „Євросвіт”



<b>1. Нові і маловідомі явища фізики</b>	
<i>Бережной Юрій.</i> Радіоактивні розпади атомних ядер	3
<b>2. Фізика світу</b>	
<i>Шопа Галина.</i> Він народився фізиком (до 100-річчя Енріко Фермі)	8
<i>Трушкін Сергій, Антон Рева.</i> Ернест Резерфорд	15
<b>3. Актуальні проблеми...</b>	
<i>Зербіно Дмитро.</i> Якою є наука?	18
<b>4. Університети світу</b>	
Найстаріший університет Півдня України – Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова	23
<b>5. Нобелівські лавреати</b>	
<i>Гальчинський Олександр.</i> Надплинний гелій-3	27
<b>6. Олімпіади, турніри ...</b>	
Задачі 10-го Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків 2001/2002 навчального року	31
<b>7. Шпаргалка абітурієнта</b>	
<i>Орлянський Олег.</i> Приборкання велосипеда або історія двох помилок	33
<b>8. Олімпіади, турніри ...</b>	
Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики, 2001 р. (10 та 11 кл.)	38
<b>9. Реальність і фантастика</b>	
<i>Черкас А., Камінський Д., Куркевич А.</i> <i>Єлісеєва О.</i> Цей загадковий світ слабких електромагнетних полів	45
<b>10. Інформація</b>	47



# Радіоактивні розпади атомних ядер

Юрій Бережній,

*доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри теоретичної ядерної фізики  
Харківського національного університету  
імені В. Каразіна*

Історія людства знає небагато явищ, відкритих випадково. До них належить одне з найважливіших у фізиці – радіоактивність атомних ядер. Радіоактивністю називається явище спонтанного перетворення нестійкого ядра в стійкіше ядро, яке супроводжується вилітом однієї або декількох частинок. Радіоактивних розпадів можуть також зазнавати деякі елементарні частинки.

Відкриття радіоактивності ядер стало початком розвитку нової науки – ядерної фізики. Це явище широко застосовується не тільки у фізиці, а й в хімії, медицині, біології, археології, геології, техніці, криміналістиці.

Французький фізик Анрі Беккерель 1896 року випадково зробив відкриття, яке полягало в тому, що солі урану спонтанно випускали випромінювання, яке фіксувалося фотографічними пластинками. Згодом з'ясувалося, що таке ж випромінювання притаманне і деяким іншим елементам. Дослідженнями цього явища пізніше зацікавились інші вчені, серед яких передусім слід відзначити Марію і П'єра Кюрі, Ернеста Резерфорда, Фредеріка Содді, Ірен і Фредеріка Жоліо-Кюрі. Саме подружжя Кюрі назвало це явище радіоактивністю. Після відкриття Резерфордом 1911 року атомного ядра було встановлено, що радіоактивність це випускання різних частинок атомними ядрами.

Е. Резерфорд 1899 року відкрив  $\alpha$ - і  $\beta$ -промені, а пізніше він визначив, що  $\alpha$ -промені – це ядра гелію. Променям, які 1900 року виявив француз Поль Віллар і які відрізнялись від  $\alpha$ - і  $\beta$ -променів, Резерфорд 1903 року дав назву  $\gamma$ -променів і припустив, що вони є електромагнетним випромінюванням із досить короткою довжиною хвилі.

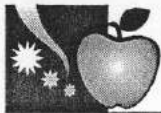
Існують різні типи радіоактивних розпадів ядер. При  $\alpha$ -розпаді атомне ядро спонтанно випускає  $\alpha$ -частинку (ядро атома He). При електронному  $\beta$ -розпаді з ядра вилітають електрон і

антинейтрино, при позитронному  $\beta$ -розпаді – позитрон і нейтрино. До  $\beta$ -розпаду належить також  $K$ -захоплення, при якому ядро захоплює електрон з  $K$ -оболонки атома. У цьому випадку електрон перестає існувати, а ядро переходить до збудженого стану, випромінюючи нейтрино. Під час  $\gamma$ -випромінювання збуджене ядро випромінює один або декілька фотонів і переходить до нижчого або основного стану.

Деякі важкі ядра можуть самодовільно (спонтанно) розпадатися на дві або більше частин. Це явище називається спонтанним поділом і також належить до процесів радіоактивного розпаду ядер. Уперше спонтанний поділ ядер  $^{235}\text{U}$  спостерігали 1940 року радянські фізики Г. Флеров і К. Петржак. Важкі ядра, що зазнають спонтанного поділу, можуть також випускати  $\alpha$ -частинки. Оскільки ймовірність  $\alpha$ -розпаду набагато більша за ймовірність спонтанного поділу, то він трапляється рідко.

Якщо нестабільне ядро переважане протонами, то воно може поряд з позитронним  $\beta$ -розпадом зазнавати також розпаду з випусканням протона. Наприклад, штучно створені 1982 року ядра  $^{151}\text{Lu}$  нестабільні в основному стані. Вони розпадаються, випускаючи протони. Деякі ядра не можуть випускати поодиноких протонів, але можуть розпадатися з одночасним випусканням двох протонів. 1983 року спостерігалися двопротонні розпади штучно створених ядер  $^{22}\text{Mg}$ , які перебували у збуджених станах.

Існують ядра, які зазнають  $\beta$ -розпаду, а потім випускають протони або нейтрони. Уламки поділу деяких ядер також можуть випускати нейтрони або безпосередньо, або після  $\beta$ -розпаду. Деякі ядра можуть зазнавати подвійного  $\beta$ -розпаду, при якому первісне ядро одночасно випускає два електрони і два антинейтрино. Ймовірність такого



процесу дуже мала, але він спостерігався експериментально. Наприклад, досліджувалися подвійні  $\beta$ -розпади ядер  $^{48}\text{Ca}$  і  $^{76}\text{Ge}$ , які перетворювалися відповідно на ядра  $^{48}\text{Ti}$  і  $^{76}\text{Se}$ .

Існують також деякі типи радіоактивних розпадів ядер, що спостерігаються дуже рідко. Це так звані екзотичні типи радіоактивності. До них належать розпади з випусканням ядер  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{24}\text{Ne}$ ,  $^{28}\text{Mg}$ ,  $^{32}\text{Si}$ . Період піврозпаду таких процесів виявляється дуже великим, що довго не давало змоги спостерігати їх експериментально. Конкуренція  $\beta$ -розпаду робить екзотичні розпади ядер малоймовірними, що також істотно перешкоджало спостереженню цих процесів.

Завдяки прогресові електронних напівпровідникових детекторів у 1980-х роках все ж таки було експериментально досліджено екзотичні типи розпадів ядер. Наприклад, 1984 року спостерігали розпади ядер  $^{222}\text{Ra}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  з випусканням ядер  $^{14}\text{C}$ . 1985 року вивчали розпади ядер  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  з вильотом ядер  $^{24}\text{Ne}$  і розпади ядер  $^{234}\text{U}$ ,  $^{236}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  з випусканням ядер  $^{28}\text{Mg}$ . 1989 року були досліджені радіоактивні розпади ядер  $^{238}\text{Pu}$ , які випускали поряд з  $\alpha$ -частинками також ядра  $^{28}\text{Mg}$  і  $^{32}\text{Si}$  або зазнавали спонтанного поділу.

Під час радіоактивного розпаду кількість нестійких ядер, що розпадаються, зменшується з часом. Такий процес є статистичним, тобто можна говорити тільки про ймовірність розпаду конкретного ядра в одиницю часу. За достатньо великої кількості однакових радіоактивних ядер можна встановити загальний закон зменшення кількості ядер з часом. Цей закон можна дістати з припущення, що зміна кількості ядер  $dN(t)$  пропорційна первісній кількості ядер  $N(t)$  у момент часу  $t$ :

$$dN(t) = -\lambda N(t)dt,$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт пропорційності, який називається сталою розпаду, знак мінус свідчить про те, що кількість первісних ядер зменшується з часом. Інтегруючи це рівняння, дістаємо закон радіоактивного розпаду

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t},$$

де  $N_0 = N(0)$  – кількість ядер у початковий момент часу  $t = 0$ .

Не можна точно передбачити момент часу, у який відбудеться розпад конкретного радіоактивного ядра. Можна тільки визначити ймовірність

того, що це ядро розпадеться в деякий момент часу  $t$ . Для одного конкретного радіоактивного ядра величина  $\exp(-\lambda t)$  є ймовірністю того, що воно не розпадається за час  $t$ . Тому величина  $(1 - \exp(-\lambda t))$  є ймовірністю розпаду ядра за час  $t$ . Наприклад, для ядер  $^{226}\text{Ra}$ , які зазнають  $\alpha$ -розпаду, стала розпаду становить  $\lambda = 1,37 \cdot 10^{11} \text{c}^{-1}$ . Звідси випливає, що протягом однієї секунди в середньому розпадається одне ядро цього ізотопу зі ста мільярдів.

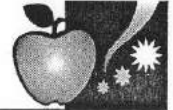
Стала розпаду дорівнює  $\lambda = 1/\bar{t}$ , де  $\bar{t}$  – середній час життя радіоактивного ядра. Отже, за час  $\bar{t}$  первісна кількість однакових радіоактивних ядер зменшується в  $e \approx 2,718...$  рази. Час  $t_{1/2}$ , за який розпадається половина первісної кількості однакових радіоактивних ядер, називається періодом піврозпаду. Ця величина пов'язана зі сталою розпаду  $\lambda$  співвідношенням:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,6931}{\lambda}$$

Звідси дістанемо  $\bar{t} \approx 1,443 t_{1/2}$ .

Для різних радіоактивних ядер величини періодів піврозпаду містяться в дуже широкому діапазоні. Для  $\alpha$ -розпаду величини  $t_{1/2}$  містяться в інтервалі від  $3 \cdot 10^{-7}$  с для ядер  $^{212}\text{Po}$  до  $1,6 \cdot 10^{23}$  с ( $5 \cdot 10^{14}$  років) для ядер  $^{144}\text{Nd}$ . Для  $\beta$ -розпаду величини  $t_{1/2}$  містяться в межах від  $10^{-2}$  с до  $6,5 \cdot 10^{22}$  с ( $2 \cdot 10^{15}$  років). Наприклад, період піврозпаду ядер  $^{116}\text{In}$  дорівнює 14,1 с, а для ядер  $^{115}\text{In}$  він становить  $1,6 \cdot 10^{22}$  с ( $5,1 \cdot 10^{14}$  років).

Деякі ядра можуть зазнавати двох типів  $\beta$ -розпаду. Наприклад, ядра  $^{48}\text{V}$  в 58% випадків зазнають позитронного  $\beta$ -розпаду, а в 42% випадків –  $K$ -захоплення, перетворюючись в обох випадках на ядра  $^{48}\text{Ti}$  ( $t_{1/2} = 16$  діб). Ядра  $^{74}\text{As}$  у 50% випадків зазнають електронного  $\beta$ -розпаду, у 47% випадків – позитронного  $\beta$ -розпаду, перетворюючись у першому випадку на ядра  $^{74}\text{Se}$ , а в другому – на ядра  $^{74}\text{Ge}$  ( $t_{1/2} = 17,8$  діб в обох випадках). Нарешті, існують ядра, що зазнають усіх трьох типів  $\beta$ -розпаду. Прикладом таких ядер є ядра  $^{80}\text{Br}$ , які в 92% випадків зазнають електронного  $\beta$ -розпаду, у 3% випадків – позитронного  $\beta$ -розпаду, а в 5% випадків –  $K$ -захоплення ( $t_{1/2} = 17,7$  хвилин в усіх трьох випадках). Під час електронного  $\beta$ -розпаду ядра  $^{80}\text{Br}$  перетворюються в ядра  $^{80}\text{Kr}$ , а під час позитронного  $\beta$ -розпаду та  $K$ -захоплення – на ядра  $^{80}\text{Se}$ .



Незважаючи на загальний характер закону радіоактивного розпаду, природа різних типів розпадів зовсім різна. Під час  $\alpha$ -розпаду, теорію якого побудували 1928 року Дж. Гамов і незалежно від нього Е. Кондон і Р. Герні,  $\alpha$ -частинка існує в ядрі в готовому вигляді, точніше вона утворюється в ядрі та існує в ньому впродовж досить тривалого часу до того, як вилетить з нього. Наприклад, у ядрі  $^{238}\text{U}$  ( $t_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$  років)  $\alpha$ -частинка зазнає  $10^{38}$  зіткнень зі стінкою бар'єра до того, як зможе вилетіти з цього ядра. Альфа-розпад відбувається внаслідок квантового тунельного ефекту, при якому  $\alpha$ -частинка „проходить” крізь бар'єр скінченної висоти і ширини. Таке явище зумовлене хвильовими властивостями мікрочастинки.

Звичайно однакові  $\alpha$ -радіоактивні ядра випускають  $\alpha$ -частинки з однією і тією ж енергією. Однак деякі ядра випускають  $\alpha$ -частинки з декількома різними значеннями їхньої кінетичної енергії. У цьому випадку говорять про тонку структуру  $\alpha$ -спектра. Прикладом таких ядер є ядра  $^{212}\text{Bi}$ . Пояснення тонкої структури  $\alpha$ -спектра цих ядер полягає в тому, що розпади ядер  $^{212}\text{Bi}$  можуть відбуватися з утворенням дочірнього ядра  $^{208}\text{Tl}$  не тільки в основному стані, а й у різних збуджених станах, перехід з яких до основного стану супроводжується випромінюванням  $\gamma$ -квантів. Існують також ядра (наприклад,  $^{212}\text{Po}$ ), які, крім основної групи  $\alpha$ -частинок з певною енергією випускають також невелику кількість  $\alpha$ -частинок з дещо більшими енергіями. Такі  $\alpha$ -частинки називаються довгопробіжними. Їхнє вилітання пояснюється  $\alpha$ -розпадом ядер  $^{212}\text{Po}$  із збуджених станів, в яких вони опиняються в результаті  $\beta$ -розпаду первісних ядер  $^{212}\text{Bi}$ .

Електрон і антинейтрино (або позитрон і нейтрино) у ядрі в готовому вигляді не існують. Ці частинки народжуються саме в момент  $\beta$ -розпаду. Аналогічна ситуація виникає і під час  $\gamma$ -випромінювання, тому що фотон також народжується в момент його вильоту. Різні взаємодії відповідають за різні типи радіоактивних розпадів ядер. Альфа-розпад і розпад ядер із випусканням вуглецю або важчих ядер зумовлений сильною взаємодією,  $\beta$ -розпад – слабкою, а  $\gamma$ -випромінювання – електромагнетною взаємодією.

Під час утворення Землі, вік якої становить приблизно  $4,6 \cdot 10^9$  років, існували ізотопи різних елементів. Деякі з них були радіоактивними. Ра-

діоактивні ізотопи, періоди піврозпадів яких значно менші за вік Землі, уже давно розпались і в природі не трапляються. Тому радіоактивність природної речовини визначається тими ізотопами елементів, періоди піврозпадів яких співмірні з віком Землі або перевищують його.

У природі існують три радіоактивні ряди. Урановий ряд починається з ізотопу  $^{238}\text{U}$ , який зазнає ланцюжка перетворень (випускається 8  $\alpha$ -частинок і 6 електронів), що приводить до утворення наприкінці стабільного ізотопу  $^{206}\text{Pb}$ . Актинієво-урановий ряд починається з ізотопу  $^{235}\text{U}$  ( $t_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$  років), який зазнає ланцюжка розпадів (випускаються 7  $\alpha$ -частинок і 4 електрони), внаслідок чого утворюється стабільний ізотоп  $^{207}\text{Pb}$ . Торієвий ряд починається з ізотопу  $^{232}\text{Th}$  ( $t_{1/2} = 71,7$  років), який зазнає ланцюжка перетворень (випускається 6  $\alpha$ -частинок і 4 електрони), що приводить до утворення стабільного ізотопу  $^{208}\text{Pb}$ .

Існує також нептунієвий. Він починається із штучно утвореного ізотопу  $^{237}\text{Np}$  ( $t_{1/2} = 2,14 \cdot 10^5$  років), який зазнає ланцюжка розпадів (випускається 7  $\alpha$ -частинок і 4 електрони), внаслідок чого утворюється стабільний ізотоп  $^{209}\text{Bi}$ . Цей ряд міг колись існувати деякий час у природних умовах після утворення Землі. Однак період піврозпадів ядер елементів, які входять до цього ряду, малі порівняно з віком Землі. Тому тепер вони в природі не трапляються.

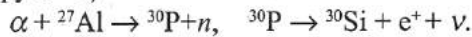
Низка штучних трансуранових елементів зазнає  $\alpha$ -розпаду. Тому їх також можна додати до чотирьох радіоактивних рядів. Наприклад, ядро  $^{242}\text{Pu}$  ( $t_{1/2} = 3,76 \cdot 10^5$  років) зазнає  $\alpha$ -розпаду і перетворюється на ядро  $^{238}\text{U}$ . Ядро  $^{244}\text{Cm}$  ( $t_{1/2} = 28,5$  років) зазнає  $\alpha$ -розпаду і перетворюється на ядро  $^{239}\text{Pu}$ , яке при  $\alpha$ -розпаді ( $t_{1/2} = 2,41 \cdot 10^4$  років) переходить в ядро  $^{235}\text{U}$ . Ядро  $^{244}\text{Cm}$  ( $t_{1/2} = 18,1$  років) зазнає розпаду і перетворюється на ядро  $^{240}\text{Pu}$ , яке потім також зазнає  $\alpha$ -розпаду ( $t_{1/2} = 6570$  років) і переходить в ядро  $^{236}\text{U}$ , а воно внаслідок  $\alpha$ -розпаду ( $t_{1/2} = 2,34 \cdot 10^7$  років) перетворюється на ядро  $^{232}\text{Th}$ . Ядро  $^{241}\text{Am}$  ( $t_{1/2} = 432$  роки) перетворюється на ядро  $^{237}\text{Np}$ . Отже, усі відомі радіоактивні ряди можна продовжити в бік важчих трансуранових елементів.

У природі також існують радіоактивні елементи, які не входять до перелічених рядів радіоактивних ядер. Наприклад, ізотоп  $^{40}\text{K}$ , що зазнає електронного  $\beta$ -розпаду з  $t_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$  років, ши-



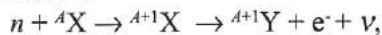
роко застосовується для визначення віку мінералів, який можна знайти з аналізу в них відносної кількості ізотопів  $^{40}\text{K}$  і  $^{40}\text{Ar}$ .

У Франції 1934 року подружжя Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі відкрило штучну радіоактивність. Вони бомбардували алюміній  $\alpha$ -частинками з енергією 5,3 МеВ, що вилітали з радіоактивних ядер  $^{210}\text{Po}$ , і спостерігали серед продуктів реакції ядра радіоактивного ізотопу  $^{30}\text{P}$  (радіофосфор), які випускали позитрони (стабільним ізотопом фосфору є  $^{31}\text{P}$ ):



Ядро  $^{30}\text{P}$  було першим штучно утвореним радіоактивним ізотопом. Пізніше було синтезовано багато різних штучних радіоактивних ізотопів ядер.

1934 року в Італії Фермі з колегами опромінювали нейтронами ядра різних елементів і синтезували 47 нових штучних радіоактивних ізотопів ядер, які виникали внаслідок поглинання ядрами нейтронів. У цьому випадку відбувалися процеси за схемою



де  ${}^A\text{X}$  – первісне ядро,  ${}^{A+1}\text{X}$  – нове штучно радіоактивне ядро,  ${}^{A+1}\text{Y}$  – дочірнє ядро, яке утворюється внаслідок радіоактивного розпаду. Це був новий шлях вивчення явища радіоактивності ядер.

Із радіоактивністю пов'язане цікаве явище, яке називається ядерною ізомерією. Ізомером є ядро в збудженому стані, енергія якого досить близька до енергії основного стану ядра, а спін  $I$  (власний момент імпульсу) суттєво відрізняється від спіну основного стану  $I_0$ :  $\Delta I = |I - I_0| \geq 4$ . Природу ядерної ізомерії пояснив 1936 року німецький фізик Карл Фрідріх фон Вейцзеккер. Річ у тому, що ймовірність переходу ядра з такого збудженого стану до основного через випромінювання фотона дуже мала, тому час життя ядра в такому стані дуже великий – він може тривати декілька хвилин, годин чи навіть діб. Такий збуджений стан ядра метастабільний.

Ядро в ізомерному стані (ізомер) може зазнавати  $\beta$ -розпаду, або може випромінювати фотон з переходом до іншого збудженого стану з меншою енергією і потім випускати електрон внутрішньої конверсії. Внутрішньою конверсією називається процес безпосереднього випускання атомом електрона без випромінювання ядром фотона. Завдяки такому процесові вилітають моноенергетичні елект-

рони, енергія яких визначається енергією збудженого стану ядра і станом електрона в атомі. Звичайно, в такому процесі з найбільшою ймовірністю вилітають електрони з  $K$ -оболонки атома.

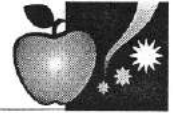
Наведемо деякі приклади. Ізомером є ядро  $^{107}\text{Ag}$ , яке перебуває у збудженому стані з енергією 0,093 МеВ ( $t_{1/2} = 44,3$  с). Інший приклад – ядро  $^{113}\text{In}$  у збудженому стані з енергією 0,393 МеВ ( $t_{1/2} = 104$  хвилини). Ядро  $^{119}\text{Sn}$  у збудженому стані з енергією 0,089 МеВ ( $t_{1/2} = 250$  діб) також є ізомером.

Активність будь-якої радіоактивної речовини визначається кількістю розпадів ядер за одиницю часу. Одиницею вимірювання активності є один розпад за секунду. Така одиниця активності називається беккерелем (Бк), крім неї використовують мегабеккерель (1 МБк =  $10^6$  Бк) і гігабеккерель (1 ГБк =  $10^9$  Бк). Наприклад, у радіоактивного ізотопу радону  $^{222}\text{Rn}$ , який міститься у  $1 \text{ м}^3$  атмосферного повітря, активність становить близько 4 Бк. Активність 1 кг уранової руди з 10% чистого урану становить 0,13 МБк. Радіоактивні джерела на основі ізотопу кобальту  $^{60}\text{Co}$ , які застосовуються в медицині для радіотерапії, мають активності від 75 до  $2 \cdot 10^6$  ГБк. За хвилину після вибуху атомної бомби, еквівалентної 20 кт тротилу, активність становить майже  $7,4 \cdot 10^{18}$  ГБк. Раніше використовувалась одиниця активності кюрі (Ки), яка тепер зазвичай не застосовується:  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10}$  Бк. Інколи вживається також одиниця активності резерфорд:  $1 \text{ Рд} = 10^6$  Бк.

Розглянемо деякі приклади застосування радіоактивних ізотопів. Вони вже давно широко використовуються в медицині. Діагностика захворювань різних органів за допомогою радіоактивних ізотопів заснована на властивості організму концентрувати і хемічні елементи в цих органах. Для діагностики захворювань щитовидної залози людині вводять радіоактивний ізотоп  $^{131}\text{I}$ , що зазнає електронного  $\beta$ -розпаду з  $t_{1/2} \approx 8$  діб. Внаслідок цього процесу утворюються ядра  $^{131}\text{Xe}$  у збуджених станах, які переходять до основних станів, випромінюючи фотони. Детектуючи це випромінювання, можна дістати інформацію про швидкість концентрації йоду в щитовидній залозі та характер її захворювання.

Ізотоп  $^{131}\text{I}$  вводять також людині в складі органічного барвника, бенгал-розу. Він концентрується в печінці. Швидкість концентрації препарату





в печінці після введення його в кров і швидкість, з якою він потім виводиться з печінки, дають змогу зробити висновок про роботу цього важливого органа організму людини. Аналогічні методи з використанням різних радіоактивних ізотопів застосовуються для дослідження нирок, шлунка, дванадцятипалої кишки та інших органів людини.

Крім діагностики, радіоактивні ізотопи широко використовуються для лікування. Передусім це променева терапія, яка застосовується як для опромінення безпосередньо злоякісних пухлин з метою їхнього руйнування, так і для опромінення всього організму, щоб вплинути на нервову або імунну систему людини. Променеву терапію зазвичай проводять за допомогою кобальтових гармат, які містять радіоактивний ізотоп  $^{60}\text{Co}$ , що випромінює фотони з енергією понад 1 MeV ( $t_{1/2} = 5,27$  років).

За допомогою радіоактивних ізотопів можна стежити за шляхами і швидкістю проходження ліків і різних речовин крізь органи людини, за швидкістю кровообігу в організмі, можна стерилізувати  $\gamma$ -випромінюванням медичні інструменти і матеріали. Зокрема такий метод застосовується для стерилізації одноразових шприців, упаковок в індивідуальні пакети разом з голками й укладених в картонні ящики, які опромінюються  $\gamma$ -випромінюванням від радіоактивних ядер  $^{60}\text{Co}$ . Гамма-випромінювання проходить крізь упаковку і стерилізує шприци та голки, які залишаються стерильними, поки не відкриють упаковки.

В археології та палеонтології застосовується радіовуглецевий метод датування викопних рослин і останків живих організмів за допомогою визначення в них концентрації ізотопу  $^{14}\text{C}$ , який зазнав електронного  $\beta$ -розпаду з  $t_{1/2} \approx 5730$  років. Цей ізотоп разом з ізотопом  $^{12}\text{C}$  засвоюється рослинами і живими організмами з навколишнього середовища – повітря або їжі. В атмосфері концентрація ізотопу  $^{14}\text{C}$  майже стала. Тому відношення кількості ізотопу  $^{14}\text{C}$  до загальної кількості вуглецю в живій рослині або в живому організмі є сталою величиною. Після вмирання рослини або організму концентрація радіоактивного ізотопу  $^{14}\text{C}$  у них зменшуватиметься за законом радіоактивного розпаду. Визначення кількості ізотопу  $^{14}\text{C}$  у викопних рослинах або останках живих організмів дає змогу досить точно встановити час, який минув після їхньої загибелі.

Існують генератори електроенергії порівняно невеликої потужності, у яких як „паливо” застосовується звичайно ізотоп  $^{90}\text{Sr}$ , що зазнав електронного  $\beta$ -розпаду з  $t_{1/2} = 28,8$  років, або  $\alpha$ -радіоактивний ізотоп  $^{238}\text{Pu}$  з  $t_{1/2} = 87,7$  років. Такі джерела електроенергії успішно використовують на штучних супутниках Землі, на розташованих ізольовано у важкодоступних місцевостях метеостанціях, у приладах для стимулювання діяльності серця.

У криміналістиці часто застосовується активізаційний аналіз, сутність якого полягає в тому, що речовина опромінюється зарядженими або нейтральними частинками і в ній утворюється штучний радіоактивний ізотоп. Опромінення речовини нейтронами приводить до їхнього поглинання ядрами і утворення  $\beta$ -радіоактивних ізотопів. Характеристики розпаду таких ізотопів дають змогу ідентифікувати найдрібніші зразки, маса яких іноді буває близько  $10^{-12}$  кг! Наприклад, хоч якісний склад волосся різних людей однаковий, вміст різних хемічних сполук у волоссі відрізняється. Тому волосся така ж індивідуальна характеристика людини, як і відбитки пальців.

Існує спосіб виявити вибухівку в багажі авіапасажирів, заснований на тому, що вибухівка зазвичай містить ізотопи азоту  $^{14}\text{N}$  і  $^{15}\text{N}$ . Під час опромінення їх нейтронами утворюється радіоактивний ізотоп  $^{16}\text{N}$  з  $t_{1/2} = 7,13$  с. Цей ізотоп випромінює фотони з енергією майже 6 MeV. Виявлення такого випромінювання після опромінення речей нейтронами є сигналом про існування в багажі речовини, яка містить азот, тобто можливо там є вибухівка. Оскільки період піврозпаду ізотопу  $^{16}\text{N}$  досить малий, то застосування цього методу не вимагає багато часу. Для цього достатньо переміщувати багаж за допомогою конвеєрної стрічки повз джерело нейтронів і детектор  $\gamma$ -променів.

Використання радіоактивних ізотопів не вичерпується наведеним вище коротким переліком. Воно розширюється щороку і навіть важко назвати галузі сучасного природознавства і техніки, де б не застосовувались прилади, які містять радіоактивні ізотопи.



# ВІН НАРОДИВСЯ ФІЗИКОМ



*„Він був генієм, причому його геніальність значною мірою пов'язана з його любов'ю до наукової простоти”*

Б. Понтекорво

(29.09.1901–28.11.1954)

*До 100-річчя від дня народження*

**Е**нріко Фермі народився фізиком. У 23-річному віці він почав дослідження з теоретичної і експериментальної фізики, яких навіть у першому наближенні вистачило б на декілька життів.

Сам учений вважав, що зробив тільки третину можливого. У квантовій фізиці Фермі зробив статистику частин зі спіном  $1/2$ , яку називають статистикою Фермі–Дірака (1925), наближену схему опису властивостей багатоелектронних атомів (1927), теорію бета-розпаду (1933), відкрив штучну радіоактивність, спричинену нейтронами (1934), виявив явище сповільнення нейтронів – ефект Фермі. Академік Б. Понтекорво писав: „Якби дослідження Е.Фермі публікували різні автори, то скільки Нобелівських премій вони отримали б? Мені здається, не менше шести: за статистику, теорію бета-розпаду, дослідження нейтронів, цикл теоретичних праць про структуру атомів і молекул, створення першого атомного реактора, роботи з фізики високих енергій...”

Енріко Фермі (Enrico Fermi) народився у Римі 29 вересня 1901 року в сім'ї службовця Альберто Фермі та учительки Іди де Гаттіс. Хоча в сім'ї ніхто не заохочував його до занять наукою, він з дитинства виявляв виняткове за-

цікавлення до математики і фізики. В Енріко була феноменальна пам'ять. Він вільно володів англійською, німецькою і французькою мовами. Винятковий науковий дар в Енріко Фермі виявлявся впродовж всього життя.

Друзі Енріко згадували, що він мав вроджений талант і потяг до знань. Наприклад, вони розповідали про такий епізод: коли Фермі було десять років, він зрозумів, чому коло описується рівнянням  $x^2 + y^2 = R^2$ , хоча це й вимагало від нього напруженого інтелектуального зусилля.

Пізніше тринадцятирічному Фермі дуже допоміг знайти правильну дорогу в науковому лабіринті інженер Амідей, добрий літній чоловік, друг сім'ї Фермі, який може гордитись тим, що, виявивши виняткові здібності Фермі, сильно чи навіть вирішально вплинув на нього. Інженер Амідей був дуже акуратною людиною. Коли після смерті Фермі Сегре попросив Амідея розповісти про перші кроки Фермі в науці, той зумів привести (через 41 рік!) дуже точні й цінні для історії науки дані, які дають змогу зрозуміти деякі важливі елементи у формуванні титанічної особи Фермі. Нижче майже повністю цитуємо лист інженера Амідея професорові Сегре, який розповідає про період життя Фермі від осені 1914 до осені 1918 року.



„...1914 року я обіймав посаду директора інспекторів у міністерстві залізничних доріг. Разом зі мною працював головний інспектор Альберто Фермі. Після роботи ми, зазвичай, повертались додому разом. Майже завжди нас супроводжував Енріко Фермі – син мого колеги. Хлопчик завжди зустрічав батька після роботи. Дізнавшись, що я серйозно займаюся фізикою, Енріко став задавати мені запитання. Йому було 13 років, а мені 37.

Добре пам'ятаю його перше запитання:

– Чи то правда, що існує розділ геометрії, у якому важливі геометричні властивості виявляються без використання поняття міри?

Я відповів, що це цілком справедливо і що розділ цей називається проєктивною геометрією.

– Але як ці властивості інженери використовують на практиці? – запитав він.

Це запитання здалось мені цілком актуальним. Розповівши хлопчикові про деякі властивості, які успішно використовуються, я пообіцяв йому принести наступного дня – як і зробив – книгу з проєктивної геометрії.

За декілька днів Енріко сказав мені, що він уже простудіював перші три уроки, і обіцяв повернути книгу, як тільки прочитає її. Приблизно через два місяці він повернув мені книгу. На моє запитання, чи мав він які-небудь труднощі, хлопчик відповів: „Жодних”, і додав, що він довів усі теореми і легко розв'язав усі задачі (у книзі їх було майже 200).

Я був вражений: адже я знав, що серед цих задач були й такі, від розв'язування яких змушений був відмовитися, бо на це пішло б надто багато часу. Але я переконався, що Енріко справився з цими задачами. Було зовсім очевидно, що у вільний час, який залишався після підготовки шкільних завдань, хлопчик досконало вивчив проєктивну геометрію і легко розв'язував надскладні задачі. Я переконався у тому, що Енріко винятково здібний, принаймні в геометрії. Коли я сказав про це його батькові, той відповів, що у школі Енріко добрий учень, але не більше.

Пізніше я дізнався, що Енріко вивчав математику й фізику за різними випадковими книжками, які він купував у букіністичних крамницях на ринку Камо ден Фьйорі. Він сподівався, між

іншим, знайти у цих книгах теорію, яка пояснює рух дзиг та гіроскопів. Пояснення він так і не знайшов. Але, повертаючись до цієї проблеми знову і знову, хлопчик самостійно наблизився до пояснення природи загадкового руху дзиги. Усе ж таки я сказав йому, що до точного наукового пояснення можна дійти лише оволодівши теоретичною механікою. Однак щоб її вивчити треба знати тригонометрію, алгебру, геометрію і диференціальні числення... Енріко погодився зі мною, і я почав діставати для нього книги, які могли б дати йому нові ідеї і міцну математичну основу...

Енріко вважав векторний аналіз дуже цікавим, корисним і нескладним. З вересня 1917 до липня 1918 року він вивчив також деякі аспекти інженерної справи за книжками, які я йому приносив.

У липні 1918 року, пройшовши трирічний курс ліцею за два роки, Енріко отримав диплом. Виникло запитання, чи варто йому вступати до Римського університету. Ми з Енріко вели на цю тему тривалі розмови.

Я запитав його, чому він хоче присвятити своє життя: математиці чи фізиці? Наводжу дослівно його відповідь:

– Я вивчав математику з такою охотою тому, що вважав це необхідною підготовкою для подальшого вивчення фізики, якій я маю намір присвятити себе цілком і повністю.

Тоді я запитав його, чи вважає він своє знання фізики настільки ж розширеним і глибоким, як і математики.

– Я знаю фізику ширше і глибше, тому що прочитав усі найвідоміші книги з цього предмета, – відповів він.

Я вже переконувався в тому, що Енріко досить лише прочитати книжку раз, аби знати її ідеально. Пам'ятаю, наприклад, як одного разу він повернув мені прочитану книгу з диференціального числення. Я запропонував йому залишити її в себе ще на рік, щоб він міг нею користуватись. Відповідь Фермі була вражаючою.

– Дякую вам, – сказав він. – У цьому немає потреби, оскільки я впевнений, що запам'ятав усе потрібне. За декілька років ідеї постають переді мною ще чіткіше, і, якщо мені знадобиться формула, я зможу легко її вивести.”



За порадою Амідєя, восени 1918 року Енріко вступив одночасно до Вищої Нормальної школи Пізи і на фізико-математичний факультет старовинного Пізанського університету. У всіх італійських університетах не було вступних іспитів; слід лише було мати атестат зрілості і змогу оплатити за навчання. Для поступлення ж до Нормальної школи вимагали витримати досить складний конкурс, але для учня школи навчання в університеті було безоплатним. Учень Нормальної школи автоматично був й студентом університету, але додатково відвідував лекції та семінари в школі.

Вищу Нормальну школу в Пізі створив 1813 року Наполеон за зразком Вищої Нормальної школи в Парижі; вона була єдиним безкоштовним вищим навчальним закладом Італії. Хоч офіційно школа призначалась для підготовки учителів середніх шкіл, багато випускників як гуманітарного, так і точного відділень вибирали кар'єру дослідників і ставали знаменитими, що підвищувало престиж школи. Зокрема, майже всі італійські математики від Б'янкї і Кастельнуово до Вольєрра і Леві-Чівіті були її випускниками. На вступному конкурсному екзамені в школу від Фермі вимагали викласти свої знання з теми „Характер і причини звуків”. Його „твір” дає уявлення про рівень знань класичної фізики, який досягнув Фермі в 17-річному віці. Досить сказати, що не всі випускники фізичних факультетів університетів (а не лише середньої школи) змогли б написати такий твір, в якому використовується метод Фур'є для розв'язування диференціального рівняння стрижня, що коливається. Фермі сам розповідав, що екзаменатор був здивований його твором і сказав, що ніколи не зустрічав нічого подібного у своїй практиці.

Слід трохи прокоментувати лист Амідєя. Це мусить зацікавити не лише фізиків й істориків науки, а ширше коло читачів, особливо школярів, які починають цікавитись наукою, а також педагогів. Цілком можливо, що саме завдяки інженерові Амідєю здібний хлопчик і став генієм. Звичайно, Фермі був природженим фізиком, але хто може сказати, якою була б його доля, якби інженер Амідєй ставився до нього інакше, якби на запитання хлопчика він відповідав, наприклад, так: „Це надто складно для тебе. Підростеш – зрозумієш!”. Можливо, Фермі не захопився би так серйозно математикою і фізикою у тринадцятирічному віці і став би лише хорошим інженером чи фізиком. Він

міг би, наприклад, закохатися, зацікавитися шахами або тенісом, іноземними мовами чи геологією. Річ у тому, що перед тринадцятирічним Фермі була тільки одна пряма дорога, яка могла б привести його туди, куди він потім прийшов (і цей шлях вказав йому Амідєй), однак була й величезна кількість „бічних” доріг.

У всякому разі Фермі став великим Фермі саме тому, що його інтереси визначились і його інтелектуальні потреби задовольнялись уже тоді, коли він був ще хлопцем. Цей факт підтверджує стиль Фермі в усьому, що стосується фізики; у читанні лекцій, поясненні чого-небудь співпрацівникові, вираженні сумніву в чому-небудь, завжди складалось враження, що йому усе видається простим і знайомим.

Кількість „потенційних Фермі” у світі значно більша, ніж це зазвичай здається!

Ось що писав Енріко Персіко: „...Виняткові здібності Фермі у точних науках виявились дуже рано; коли я з ним познайомився (йому було лише 14 років), я зі здивуванням виявив, мій приятель не тільки „дока” в науці, як кажуть шкільним жаргоном, а й товариш, склад розуму якого абсолютно відрізняється від типового для всіх „розумних” хлопців і зразкових учнів, з якими я був знайомий... Для нього вже тоді знання теореми чи закону означало, передусім, вміння їх застосовувати”.

Після повернення до Риму Е. Фермі дістав від італійської влади стипендію, яка дала змогу йому продовжити вивчення сучасної фізики в Німеччині, в Макса Борна, який очолював на той час відділення теоретичної фізики Геттінгського університету, і в Голландії, у Пауля Еренфеста в Лейденському університеті. Еренфест підтримав юного Фермі.

1924 року Фермі почав читати лекції з математичної фізики і механіки у Флорентійському університеті. У перші роки його дослідження торкалися проблеми загальної теорії відносності Альберта Айнштейна, статистичної механіки, квантової теорії й електронної теорії твердого тіла. 1926 року він розробив новий різновид статистичної механіки, підказану принципом заборони Паулі. Вона дала змогу успішно описувати поведінку електронів, а пізніше була застосована до протонів і нейтронів. Статистика Фермі дала змогу краще зрозуміти електропровідність металів і привела до побудови ефективнішої моделі атома.



Енріко Фермі було лише 26 років, а він уже отримав міжнародне визнання та очолив кафедру теоретичної фізики в Римському університеті (1927). Нові фізичні ідеї, які він привіз із Німеччини та Голландії, схвилювали італійських учених. У Геттінгемі і Лейдені Фермі ознайомився з основами квантової механіки безпосередньо з вуст її творців – Макса Борна, Вернера Гайзенберга, Пауля Еренфеста. Він не тільки глибоко засвоїв ці ідеї, а й намагався теоретично розвинути складні проблеми атома. Проте його лекції у Римі були мало зрозумілими для фізиків старшого покоління, які скептично ставились до нових споглядань. Не могли, наприклад, погодитись з тим, що електрон має хвильові властивості. Ця частинка, яка всього за три десятиріччя після її відкриття перевернула все матеріалознавство, тепер знову ставала загадковою? Та й чи частинка вона взагалі? Частинка чи хвиля? Чим є хвилі де Бройля? У чому реальний сенс рівняння Шредингера? Чи не забагато загадок?

Зрозуміло було одне – Фермі слід вірити, вірити сліпо, як католики вірять Папі Римському. І його прозвали „папою” італійських фізиків. Йому було трохи більше тридцяти років, і хтозна чи прізвисько „папа” підходило йому. Однак генієм людина може бути визнана в будь-якому віці. Працівники не просто сліпо вірили Фермі, вони розуміли свого вчителя, відчували, що теоретичні дослідження молодого професора сприяють швидкому розвитку науки про атом.

У Римі Фермі об'єднав навколо себе кілька видатних учених і заснував першу в Італії школу сучасної фізики. У міжнародних колах її називали групою Фермі. За два роки Беніто Муссоліні призначив Фермі на почесну посаду члена заново створеної Королівської академії Італії.

На початку 1930-х років Фермі переніс свою увагу із зовнішніх електронів атома на атомне ядро. 1933 року він запропонував теорію бета-розпаду, яка дала змогу пояснити спонтанне випускання електронів і роль нейтрино – частинок без електричного заряду, які не піддавались тоді експериментальному виявленню. Існування таких частинок постулював Паулі, а назву придумав Фер-



*Енріко Фермі читає лекцію*

мі (нейтрино експериментально виявили 1956 року). Теорія бета-розпаду Фермі торкалась нового типу сил, який назвали слабкою взаємодією. Такі сили діють між нейтронами і протонами в ядрі й зумовлюють бета-розпад. За інтенсивністю слабка взаємодія значно поступається сильній, яка утримує разом нуклони – частинки, з яких складається ядро. Статтю Фермі про бета-розпад відхилив через новизну англійський журнал „Nature”, але вона була надрукована у німецьких та італійських виданнях. Спираючись на ідеї висловлені Фермі, Хідекі Юкава передбачив 1935 року існування нової елементарної частинки, відомої як пі-мезон або піон.

У 1920-х роках було прийнято вважати, що атом містить два типи заряджених частинок: від'ємні електрони, які обертаються навколо ядра з позитивних протонів. Фізиків цікавило, чи може



ядро містити частинку без електричного заряду. Експерименти з виявлення електронейтральної частинки досягли своєї кульмінації 1932 року, коли Джеймс Чедвік відкрив нейтрон, у якому фізики, особливо Вернер Гайзенберг, майже відразу побачили ядерного партнера протона. Фермі високо оцінив значення нейтрона як потужного джерела ініціювання ядерних реакцій. Експериментатори намагались бомбардувати атоми зарядженими частинками, але для подолання електричного відштовхування заряджені частинки слід розігнати на потужних і дорогих прискорювачах. Налітаючи електрони відштовхуються атомними електронами, а протони і альфа-частинки – ядром так, як відштовхуються однойменні електричні заряди. Оскільки нейтрон заряду не має, потреба прискорювачів відпадає.

Навесні 1934 року, дізнавшись про досліди Жоліо–Кюрі з штучної радіоактивності, Фермі вирішив їх повторити, але застосувавши зовсім інший підхід. На відміну від подружжя Жоліо–Кюрі, які для бомбардування речовини використовували альфа-частинки, італійський учений вирішив використати для цього нейтрони. У статті „Радіоактивність, спричинена нейтронним бомбардуванням” він писав, що своїми дослідженнями намагався з’ясувати, чи не викликає нейтронне бомбардування наведеної радіоактивності – явища, аналогічного до того, яке спостерігали Жоліо–Кюрі, – при опроміненні альфа-частинками.

Таке рішення було несподіваним і сміливим. У ті часи жоден фізик не вважав нейтрони придатними для розщеплення атома. Отто Фріш пізніше згадував: „Я пам’ятаю, що моя реакція і реакція багатьох інших була скептичною: експеримент Фермі здавався нерозумним, тому що нейтронів було набагато менше, ніж альфа-частинок”. Фредерік Жоліо–Кюрі, закликаючи колег повторити його досліди з іншими частинками, навіть не згадав про можливість використати нейтронів.

Пізніше Фермі так пояснив причини недовіри до нейтронів з боку інших фізиків і свою щасливу здогадку: „Використання нейтронів як бомбардувальних частинок має недолік: кількість нейтронів, якими можна практично користуватись, неспівмірно менша від кількості альфа-частинок, які

отримуються від радіоактивних джерел, або кількості протонів та дейтронів, прискорених у високоевольтних пристроях. Але цей недолік частково компенсується більшою ефективністю нейтронів під час проведення штучних ядерних перетворень. Нейтрони мають ще й іншу перевагу. Вони ефективніше зумовлюють ядерні перетворення. Кількість елементів, які можуть бути активовані нейтронами, значно перевищує кількість елементів, які можна активувати за допомогою інших видів частинок”.

Нова методика була нескладною. Тоді як подружжя Жоліо–Кюрі й інші фізики бомбардували елементи альфа-частинками, що вилітали з радіоактивного препарату, Фермі використовував ці частинки, щоб отримати нейтрони (хоч їх і вилітало зовсім небагато). Потім цими нейтронами він проводив опромінення різноманітних елементів.

„Нейтронні гармати” Фермі були маленькими трубками завдовжки декілька сантиметрів. Їх заповнювали „сумішню” тонкодисперсного порошка берилію і еманції радію. За їхньою допомогою Фермі бомбардував фтор, алюміній, кремній, фосфор, хлор, залізо, кобальт, срібло і йод. Ці елементи активувались, і в багатьох випадках Фермі міг вказати природу радіоактивного елемента, що утворився.

За декілька місяців після початку експериментів (1935), Фермі і його співпрацівники виявили: якщо нейтрони сповільнити, пропускаючи їх через воду чи парафін, то вони ефективніше ініціюють ядерні реакції. Сповільнення нейтронів зумовлене їхніми зіткненнями з ядрами водню (протонами), які є у цих середовищах. Під час зіткнення нейтронів із протонами значна частина їхньої енергії втрачається, адже маси цих частинок майже рівні.

В Італії посилювалась фашистська диктатура Муссоліні. Італійська агресія проти Ефіопії привела до економічних санкцій з боку членів Ліги Націй, а 1936 року Італія ввійшла в союз з нацистською Німеччиною. Група Фермі в Римському університеті розпадалась. Після прийняття італійською владою у вересні 1938 року антисемітських громадянських законів Фермі з дружиною, вирішив емігрувати до США. Учений прийняв запрошення Колумбійського університету зайняти посаду професора фізики.



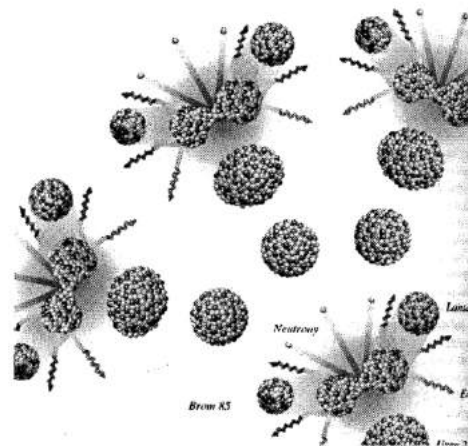
1938 року Е. Фермі було присуджено Нобелівську премію з фізики „за доведення існування нових радіоактивних елементів, отриманих під час опромінення нейтронами, і пов’язане з цим відкриття ядерних реакцій, які викликаються швидкими нейтронами”. „Поряд з видатними відкриттями Фермі загальне визнання отримали його майстерність експериментатора, вражаюча винахідливість та інтуїція... , яка дала змогу заново подивитись на структуру ядра і відкрити нові горизонти для майбутнього розвитку атомних досліджень”, – заявив, представляючи лавреата, Ханс Плейель зі Шведської королівської академії наук.

Після церемонії вручення премії, яка відбулася в грудні 1938 року в Стокгольмі, Фермі відразу ж відправився за океан. Прибувши в Сполучені Штати, Фермі, як і всі емігранти того часу, мусив пройти тест на перевірку розумових здібностей. Нобелівського лавреата попросили додати 15 до 27 і розділити 29 на 2.

Невдовзі після того до Америки приїхав Нільс Бор, щоб провести декілька місяців у Прістонському інституті фундаментальних досліджень. Бор повідомив про відкриття розщеплення урану при бомбардуванні його нейтронами, яке зробили Ган, Майтнер і Штрассман. Багато фізиків почали обговорювати можливість ланцюгової реакції. Якщо щоразу, коли нейтрон розщеплює атом урану, випускались нові нейтрони, то вони могли б, зіштовхуючись з іншими атомами урану, породжувати нові нейтрони і зумовлювати незагасаючу ланцюгову реакцію. Оскільки з кожним поділом урану виділяється велика кількість енергії, ланцюгова реакція могла б супроводжуватись величезним її виділенням. Якби вдалось „осідлати” ланцюгову реакцію, то уран став би вибуховою речовиною неймовірної сили. Щоб здійснити ланцюгову реакцію Фермі почав планувати експерименти, які б дали змогу визначити, чи можлива така реакція і чи можна нею керувати.

На переговорах з Управлінням військово-морського флоту 1939 року Фермі вперше звернув увагу на можливість створити атомну зброю на основі ланцюгової реакції. Він отримав федеральне фінансування для продовження своїх досліджень. Під час роботи Фермі та італійський фізик Еміліо Сегре, його колишній студент, встановили можливість використовувати як „вибухівку” для атомної бомби тоді ще не відкритий елемент – плутоній.

Хоча плутоній, елемент з масовим числом 239, ще не був відомий, обидва вчені були переконані в тому, що елемент з таким масовим числом повинен розщеплюватись і може бути отриманий в урановому реакторі при захопленні нейтрона ураном-238.



1942 року, коли в США розпочались роботи зі створення атомної бомби, відповідальність за дослідження ланцюгової реакції і отримання плутонію була покладена на Фермі, який мав з юридичного погляду статус „іноземця – підданного ворожої держави”. Наступного року дослідження було перенесено з Колумбійського в Чиказький університет, в якому Фермі, як голова підсекції теоретичних аспектів Уранового комітету керував створенням першого в світі ядерного реактора, який будували на майданчику для гри в сквош під трибунами університетського футбольного стадіону Стегг-Філд.

Реактор, який будували, технічним жаргоном називали „купою”, бо він був складений з брусків графіту (чистого вуглецю), які повинні були сповільнювати нейтрони. Уран і оксид урану розміщували між графітовими брусками. 2 грудня 1942 року кадмієві регулювальні стрижні, які поглинали нейтрони, були повільно виведені, щоб запустити першу в світі самопідтримувальну ланцюгову реакцію. „Було зрозуміло, – писав потім Джон Кокрофт, – що Фермі відчинив двері в атомний вік”. Трохи пізніше Е. Фермі був призначений завідувачем відділу сучасної фізики в новій лабораторії, створеній під керівництвом Роберта Опенгеймера для створення атомної бомби у



строго засекреченому містечку Лос-Аламосі (штат Нью-Мексіко). Фермі та його сім'я стали громадянами Сполучених Штатів у липні 1944 року, а наступного місяця вони переїхали в Лос-Аламос. Фермі був свідком першого вибуху атомної бомби 16 липня 1945 року поблизу Аламогордо (штат Нью-Мексіко). У серпні 1945 року атомні бомби було скинуто на японські міста Хіросіму і Нагасакі.

Наприкінці війни Фермі повернувся в Чиказький університет, зайняв пост професора фізики і став співпрацівником заново створеного при Чиказькому університеті Інституту ядерних досліджень. Фермі був чудовим педагогом і славився як неперевершений лектор. Серед його аспірантів – Маррі Гелл-Манна, Янга Чженьніна, Лі Цзундао і Оуена Чемберлена.

Після завершення 1945 року в Чикаго будівництва циклотрона (прискорювача частинок) Енріко Фермі почав експерименти з вивчення взаємодії між незадовго до того відкритими пімезонами і нейтронами. Фермі належить також теоретичне обґрунтування походження космічних променів і джерела їхньої високої енергії.

Останні роки життя Фермі присвятив фізиці високих енергій і зробив декілька відкриттів. Він розробив теорію галактичного походження космічних променів (1949), статистичну теорію множинного утворення частин за високих енергій (1950), відкрив перший адронний резонанс, запропонував першу складову модель елементарних частин (модель Фермі–Янга) (1952).

1928 року Енріко Фермі одружився з Лаурою Капон, яка належала до відомої у Римі єврейської сім'ї. У подружжя Фермі народились син і донька.

Е. Фермі захоплювався альпінізмом, зимовими видами спорту і тенісом.

У США Енріко Фермі створив всесвітньо відому наукову школу, учнями якої були Г. Андерсон, М. Гелл-Манн, Т. Лі, Ч. Янг, Дж. Чу, О. Чемберлен. Він був членом багатьох академій і наукових товариств.

Помер Енріко Фермі 28 листопада 1954 року вдома в Чикаго невдовзі після того, як йому виповнилось п'ятдесят три роки. Наступного року на його честь новий, 100-й елемент, назвали фермієм. Ім'я Фермі присвоєно Чиказькому інституту ядерних досліджень. У США заснована премія Енріко Фермі.

Галина ШОПА

---

### Наукова громадськість України відзначила 70-річчя від дня народження видатного українського фізика, академіка НАН України Михайла Семеновича Бродина.



**Михайло Бродин** народився 30 вересня 1931 року в селі Сівка-Войнилівська на Івано-Франківщині.

Академік М.Бродин має значні заслуги як організатор фізичної науки в Україні. Вже 15 років він очолює Інститут фізики НАН України. Майже десять років був академіком-секретарем Відділення фізики і астрономії НАН України. Перший заступник головного редактора „Українського фізичного журналу”, член редколегії авторитетних періодичних видань (серед них і закордонних), член Комітету з Державних премій України з науки і техніки, член відомих наукових товариств України та інших країн.

Наукові здобутки академіка М. Бродина мають світове визнання. Вони стосуються таких важливих галузей фізичної науки: низькотемпературна кристалооптика і спектроскопія кристалів; нелінійна оптика; шаруваті кристали, поверхневі екситони, екситон-фононна взаємодія; спектроскопія поляритонів; напівпровідникові лазери, мінілазери, механізми генерації.

Михайло Бродин усе життя присвятив науці. Це людина високої культури, скромна, доброзичлива. Як справжній учений, академік М.Бродин завжди підтримує прогресивні ідеї. Він гідний син свого народу, своєї держави, свого часу.

*Редакція журналу „Світ фізики” щиро вітає Вас, шановний Михайле Семеновичу, з 70-річчям і бажає міцного здоров'я, успіхів у науковій роботі. З роси і води Вам!*





До 130-річчя від дня народження



# ЕРНЕСТ РЕЗЕРФОРД

(30.08.1871 – 19.10.1937)

згадував один з його улюблених учнів, П. Капиця, Е. Резерфорд не дозволяв працювати в лабораторії після 6-ої години вечора, а у вихідні – працювати зовсім. Він казав: „Цілком достатньо працювати до 6-ої години, в інший час вам треба думати. Погані люди, які занадто багато працюють і занадто мало думають”.

Ернест Резерфорд народився 1871 року в селі Брайтуотер, неподалік від міста Нельсоне в Новій Зеландії. Він був одним із дванадцяти дітей дрібного фермера, вихідця із Шотландії. Виявивши неабиякі здібності, Ернест після закінчення школи вчився, отримуючи стипендії: спочатку в коледжі рідного міста, а потім у коледжі Крайстчерча, одного з великих міст Нової Зеландії. Вже у студентські роки Резерфорд серйозно займався наукою, але, оскільки фізична та хімічна апаратура відповідних відділень університету була примітивною порівняно з оснащенням більшості європейських лабораторій, то це привчило Резерфорда завжди обходитися вельми простим обладнанням і самому винаходити прилади для своїх геніальних експериментів. Відомо, що ще на засіданні студентського товариства, він виступив із доповіддю „Про еволюцію матерії”, де висунув ідею про те, що всі атоми складаються з одних і тих самих складових частин. Однак ідею Резерфорда ніхто не сприйняв. Правильність своїх поглядів він переконливо довів лише через двадцять років.

Закінчивши коледж з відзнакою 1894 року, Е. Резерфорд деякий час викладав фізику, поки в його житті не відбулася знаменна подія. Йому надали стипендію, яку присуджували обдарованим випускникам провінційних університетів Великобританії і яка дала йому змогу продовжити наукову діяльність в Англії. Ернест працював у полі, коли отримав

**Е**рнеста Резерфорда справедливо вважають одним з найвидатніших фізиків-експериментаторів. Його праці, відкриття започаткували ядерну фізику, і крім величезного теоретичного значення, мали широкий спектр застосувань, включаючи: ядерну зброю, атомні електростанції, ядерні реакції. Тому відкриття Е. Резерфорда мають ширше значення, ніж просто академічне. Праці Е. Резерфорда мали величезний вплив на світ і цей вплив зростає.

Особистість Е. Резерфорда завжди вражала всіх, з ким він зустрічався. Він був кременозною людиною з невичерпною енергією, гучним голосом та деякою „нестачею сором'язливості”. Якщо колеги вказували на надприродну властивість Резерфорда, завжди знаходиться „на гребені хвилі” наукових досліджень, він одразу відповідав: „А чому б і ні? Адже це я викликав хвилю, чи не так?” Небагато хто може заперечити це твердження.

Е. Резерфорд був не тільки великим ученим, а й великим учителем. Його учнями були Н. Бор, Х.Гейгер, Дж. Кокрофт, П. Блекетт, Дж. Чадвік, П. Капиця. Він особливо цінував в учнях ініціативу, сміливість і оригінальність мислення. Як

Читайте також про Е. Резерфорда у статті Д. Біда „У глибини атома” (журнал „Світ фізики”. 1997. № 1)



звістку про цю радісну подію. Він кинув лопату на землю і вигукнув: „Це остання картопля, яку я викопав!”

Для стажування Резерфорд вибрав знамениту Кавендіську лабораторію в Кембриджі, що була на той час найкращою в світі, якою керував Дж. Дж. Томсон. І вже в першій спільній праці про вплив рентгенівських променів на електричні розряди в газах Резерфорд і Томсон висловили сміливу ідею, що під час проходження крізь газ рентгенівські промені руйнують його атоми, вивільняючи однакову кількість позитивно і негативно заряджених частинок, які вони назвали йонами.

Одного разу на засіданні Британської асоціації сприяння прогресові науки 1896 року, де Резерфорд виступав із доповіддю про свої дослідження магнетного детектора і демонстрував його, з ним трапилася цікава історія. Під час демонстрації апарат Резерфорда відмовив. Він спокійно подивився і сказав:

„Щось зламалося! Якщо ви будете люб'язні вийти покурити хвилину на п'ять, він після вашого повернення запрацює”. Це сподобалося всім присутнім; вони вийшли, а коли повернулися, дослід відбувся. Один відомий фізик сказав: „Цей юнак далеко піде”.

Без сумніву, перебування Резерфорда в Кембриджі, де він спілкувався з видатними вченими Англії, допомогло його становленню як ученого. Там він познайомився з Лоджем, а на засіданнях наукових товариств він зустрічався з Кельвіном, Д'юаром, Стоксом, Релеєм. Він цінував це і не дивно, що Резерфорд говорив про своїх відомих попередників: „Я завжди дивуюся, як мало молоде покоління знає про них та про їхню творчість. У молоді таке враження, наче наука зародилась тільки на їхніх очах”.

Після закінчення стажування Резерфорд почав працювати в університеті Мак-Гілла в Монреалі (Канада). Роки, проведені в Канаді, були винятково плідними. Резерфорд організував лабораторію, у якій проводив дослідження радіоактивності. Там він відкрив два види випромінювання урану:  $\alpha$ -випромінювання, яке проникає тільки на коротку відстань, і  $\beta$ -випромінювання з великою проникною здатністю.

Разом з молодим хіміком Ф. Содді Резерфорд створив основні принципи фундаментальної теорії

радіоактивності, за якою, радіоактивність – це мимовільне перетворення одних елементів в інші, що супроводжується виділенням величезної кількості енергії у вигляді випромінювань різного типу. Ця теорія змінювала погляд на атоми як неподільні й незмінні частки. Результати їхньої співпраці були настільки значними, що Монреаль став одним з центрів дослідження радіоактивності.

Після опублікування праці „Радіоактивне перетворення”, що була присвячена теорії перетворення одних елементів в інші, Резерфорд був обраний членом Лондонського Королівського товариства.

Як зазначав його біограф Ів, подальша „наукова діяльність Резерфорда за своїми масштабами ніколи не перевершувала тієї, яку він розгорнув у Монреалі.

Ім'я Резерфорда набувало популярності. Про спільні дослідження Гейгера і Резерфорда з підрахунку  $\alpha$ -частинок і встановлення їхнього заряду у червні 1908 року Резерфорд доповів у Королівському товаристві. Це стало першим тріумфом манчестерського періоду діяльності Резерфорда. Того ж року він отримав Нобелівську премію з хімії. Нобелівська лекція Резерфорда називалася: „Про хімічну природу  $\alpha$ -частинок радіоактивних речовин”. Учені, присутні на Нобелівській лекції Резерфорда, були вражені новизною науки, яку розкрив перед ними доповідач. Про розгубленість наукового світу перед дослідженнями Резерфорда свідчить думка професора Міттаг-Леффлера, члена Шведської Королівської академії: „Мені випала честь вітати містера Резерфорда, юного піонера в тій новій науці, яка, будучи, не фізикою, не хімією, водночас є і фізикою, і хімією...”

1907 року Резерфорд повернувся до Англії і зайняв посаду професора Манчестерського університету. Оскільки в молоді роки Резерфорд вже встиг багато чого зробити і став всесвітньо відомим, то японський міністр освіти, якому він був представлений, прийняв його за „сина славетного професора Резерфорда”.

Значним внеском Резерфорда в науку в манчестерський період стало створення ним планетарної моделі атома. Ця модель з'явилась в результаті вивчення розсіювання  $\alpha$ -частинок тонкими шарами речовини, теорію якого створив Резерфорд. Однак планетарна модель, запропонована Резерфордом, спочатку викликала сумніви. Видатний



астроном Артур Еддінгтон якось сказав, що саме Резерфорд зробив найбільшу зміну в уявленні про будову речовини з часів Демокріта.

1914 року у лекції Резерфорд так розповідав про події, які передували створенню моделі атома: „Одного разу до мене прийшов Гейгер і запитав: „Чи не думаєте Ви, що молодий Марсден, якого я навчаю методів роботи з радіоактивністю, має розпочати самостійне дослідження?” – „Тепер і я так думаю, – відповів я. – Чому б йому не подивитися, чи не розсіюються  $\alpha$ -частинки на великі кути?“, „Я можу сказати Вам по секрету, що я не вірив у це, бо ми знали, що  $\alpha$ -частинка – дуже швидка і важка з величезною енергією, і можна сказати, якщо розсіювання зумовлене нагромадженням ефекту від послідовних розсіювань на малі кути, то ймовірність розсіювання  $\alpha$ -частинок назад повинна бути дуже малою. Більшість  $\alpha$ -частинок у дослідах Марсдена справді проходила крізь фольгу, лише слабко відхиляючись. Однак приблизно одна частинка з 2000 відхилялася на кути, більші за  $90^\circ$ “. „...це було найнеймовірнішою подією за все моє життя, – говорив Резерфорд. – Це було так само неймовірно, якби вистрелили 15-дюймовим снарядом у шматок тонкого паперу, а снаряд повернувся б до Вас і наніс Вам удар”.

Не можна залишати поза увагою й ідеї про еволюцію елементів, яка глибоко вкоренилася в свідомість Резерфорда з юних літ, з часу його доповіді в коледжі Кентербері. Наприкінці того ж манчестерського періоду ця ідея привела Резерфорда до нового фундаментального відкриття – можливості перетворення звичайних елементів.

Перша світова війна з її наслідками порушила налагоджену роботу лабораторії Резерфорда. Це було в той час, коли вчений прагнув довести можливість перетворення елементів, навіть не радіоактивних, за допомогою сильних джерел випромінювання та в лабораторних умовах.

Після того як Дж.Дж.Томсон 1919 року звільнив посаду професора кафедри експериментальної фізики Кембриджського університету і директора Кавендишської лабораторії. Резерфорд став його наступником і залишився ним до кінця життя. У науково-дослідній роботі Резерфорда в Кембриджі можна виділити три головні напрями.

Один – продовження розпочатих ще в манчестерський період експериментів з опромінення  $\alpha$ -частинками легких елементів, що привели до відкриття штучного перетворення ядер нерадіоактивних елементів. Другий напрям тісно пов'язаний з вивченням силового поля ядра, що завершилося відкриттям ядерних сил. Водночас продовжувалися дослідження радіоактивного розпаду; це був третій напрям досліджень, які показали, що випромінювання  $\gamma$ -променів ядрами атомів пов'язане зі зміною енергії ядер. Резерфорд передбачив існування нейтрона, здійснив перші штучні перетворення елементів.

1931 року його визнали гідним баронського титулу. Резерфорд послав свої матері до Нової Зеландії телеграму: „Те, що я лорд Резерфорд, – більше твоя заслуга, ніж моя. Твій син Ернест”.

Наприкінці 1937 року Резерфорд планував відвідати Індію як голова об'єднаної сесії Британської Асоціації та Індійського наукового конгресу у зв'язку з 25-річчям останнього. Влітку Резерфорд ретельно готувався до свого виступу. В доповіді він планував зробити огляд розвитку науки в Індії.

Резерфордові не судилося прочитати цю доповідь. Після короткочасної хвороби, яка вимагала негайної операції, він 19 жовтня 1937 року несподівано помер.

Весь науковий світ був вражений звісткою про смерть Резерфорда. Вченого поховали у Вестмінстерському абатстві, недалеко від саркофага Ньютона.

Ернест Резерфорд прожив плідне і цікаве життя. Він був нагороджений безліччю відзнак усього світу, але, може найбільшою нагородою йому стало б висловлення давнього друга:

„Резерфорд за все життя не надбав собі жодного ворога і не втратив жодного друга”.

Він справді був великим ученим і великою людиною.

**Сергій Трушкін,**

*учитель фізики,*

**Антон Рева,**

*учень 11-А класу,*

*загальноосвітня середня школа № 306*

*м. Києва*

# Якою є наука?\*

Дмитро Зербіно,

*доктор медичних наук, професор, член-кореспондент НАН України  
і Академії медичних наук України, заслужений діяч науки і техніки України,  
директор Інституту клінічної патології Львівського медичного університету*

## ФУНДАМЕНТАЛЬНА І ПРИКЛАДНА НАУКА

Термін „фундаментальна наука” свідчить про те, що йдеться про відкриття законів, закономірностей у природі та суспільстві. Відкриття нових напрямів, отримання нового знання – це головне, чим має займатись фундаментальна наука. Інколи напочатку відкриття здаються не суттєвими, це – якесь відхилення вбік, перехід у науці на нову „вузьку дорогу” або навіть перехід на „стежку”. І починається життя нового напрямку. Термін „відкриття” дуже точний. Він показує, що справді відчиняються двері у нову „будову” науки. Це входження в нову галузь. Інколи кажуть – прорив на новий „вищий поверх”, окремий новий напрям наукових досліджень. Він не завжди зрозумілий навіть самому авторові та його сучасникам. І навіть у віддаленому майбутньому. Лише час і наполеглива праця дають змогу оцінити якесь відкриття, зрозуміти, що саме воно є базисом для просування вперед дослідницької роботи.

Сьогодні немає чіткої класифікації наукових досліджень. Ми розуміємо такі терміни, як фундаментальні, базові, пошукові дослідження, „чиста наука”, теоретичні дослідження, інтенсивні та екстенсивні дослідження, прикладні дослідження і розробки.

Наукові дослідження найчастіше поділяють на два типи: фундаментальні та прикладні. Деякі автори (П. Оже, Дж. Бернал та ін.) приділяли увагу класифікації наукових досліджень і виділили у згаданих двох типах додаткові класи. Серед фундаментальних досліджень виділяють два класи: пошукові й тематичні. Пошукові – це дослідження великої, але ще маловивченої проблеми. Найближча мета дослідження такої проблеми – не стільки використання результатів у практиці й навіть не стільки розв’язання деякої проблеми, скільки з’ясування її сутності та можливих шляхів вивчення. Наступним класом досліджень є фундаментальні праці, мета яких – розв’язання конкретної проблеми. Такі дослідження іноді називають цільовими чи тематичними.

Деякі вчені в межах тематичних фундаментальних досліджень виділяють два їхні види. Наприклад,

П. Оже вказує, що один вид досліджень може бути присвячений підготовчій роботі дослідницького характеру. Вона спрямована на збір великої кількості спостережень і вимірювань. Об’єктом подібних досліджень може служити, наприклад, ґрунт нашої планети, океани чи атмосфера, систематичний синтез і вивчення їхніх фізичних, хімічних та біологічних властивостей. Другий вид досліджень – роботи, спрямовані на систематичне вивчення будь-якого важливого явища природи, наприклад, випромінювання у вигляді космічних променів, твердого стану матерії чи деякого аспекту життя, такої, як спадковість, обмін речовин.

У будь-якій галузі знань можна виділити три типи досліджень. Перший – це пошук нових фундаментальних законів природи, виявлення зв’язків між явищами; другий – дослідження, що мають пояснити явища, факти, процеси тощо. Третій тип – це роботи, спрямовані на практичне застосування відкритих явищ, процесів, фактів, на створення нових технологічних процесів, механізмів, машин тощо.

Однак розподіл наук на фундаментальні та прикладні здебільшого умовний. Прикладними вважають дослідження, спрямовані на використання та застосування наукових знань, удосконалювання будь-якої галузі практичної діяльності людини.

Фундаментальні дослідження здобувають нові знання про природу (у широкому значенні слова). Нові ідеї – базис науки. Відсутність гіпотез, теорій, концепцій призводить до тимчасових робіт, що зрідка вирішують, а частіше повторюють дрібні питання. Це не проблеми, а скоріше проблемки, у кращому випадку їх називають заялженим словом „питання”.

Міцна загальна культура, глибокі знання, підбір адекватних методів, добре обладнання – основа фундаментальних досліджень. Давно відомо: з поганих лабораторій виходять погані роботи. Сплав фантазії, досвіду, культури наукового лідера звичайно стимулюють розвиток і розгалуження фундаментальних досліджень, сприяють практичному підкріпленню ідеї. Однак розрив у часі між ідеєю та її втіленням може бути не великим, а величезним. Геніальність ученого не в тому, що він вирішує сьогодні, а в тому, що його ідеї згодом можуть зненацька захопити найближчих і віддалених у часі та просторі послідовників (досить згадати К. Цюлковського, А. Айнштайна).

\*Із книги Зербіно Д. Наукова школа: лідер і учні. – Львів: Євросвіт, 2001. – 208 с.

Фундаментальну науку створює безупинна робота думки. Будівля прикладної науки міцна, якщо „фундамент” закладений глибоко, врахувані особливості „грунту”. До речі, про ґрунт в інтелектуальному розумінні. Лише на доброму, генетично здоровому ґрунті зростатимуть таланти, навіть, генії. Правда, не тільки буття визначає свідомість, а й свідомість визначає буття. Точніше, причина й наслідок у розвитку таланту можуть змінюватися місцями в ланцюзі генетичної еволюції чи регресу. Словом, детермінізм тут неминучий.

Парадоксально, але досі йдуть суперечки про відмінності між фундаментальною та прикладною наукою. Немає бездоганно точного, єдиного уявлення про те, що називати фундаментальною наукою. Тому воліють говорити про фундаментальні напрями наукових досліджень.

Основним завданням академічної науки завжди було і буде виробництво наукових знань – фундаментальні дослідження. Це принципово відрізняє її від галузевої науки, завдання якої – прикладні дослідження: створення нових і удосконалення старих технологій і машин, одержання нових речовин і конструкційних матеріалів. Подібне співвідношення мети фундаментальної та прикладної науки загально визнано в усьому світі. Фундаментальні дослідження проводять, зазвичай, тривалий час. Можна навести десятки прикладів, які свідчать, що великі досягнення найчастіше одержують завдяки тривалим і цілеспрямованим (задуманим, а не запланованим!) дослідженням.

Отже, в історії науки ще не було даремних фундаментальних досліджень. Зрештою саме вони рухають суспільний прогрес. Один із радників президента США сказав, що фундаментальна наука – основа „національного добробуту”.

Основна сфера діяльності фундаментальних наук – дослідження природних явищ, феноменів, закономірностей. Фундаментальна наука покликана розкривати насамперед об’єктивні закони природи. Вона має те ж коріння, що й мистецтво та релігія. Фундаментальна наука відображає інтелектуальний рівень суспільства в кожній країні. Вона підвищує його інтелектуальний потенціал і загальний культурний рівень тієї країни, де науці приділяють належну увагу.

До сфери фундаментальної науки входять побудова й дослідження різних інтелектуальних конструкцій – гіпотез, концепцій, теорій. Фундаментальна наука дає нові знання про розмаїтість світу природи.

Основа будь-якої академічної науки – фундаментальні дослідження, що відрізняє її від галузевої. Зрозуміло, що творці фундаментальної науки володіють високою загальною культурою, великими знаннями, вмінням підібрати адекватні методи, йти нестандартними шляхами. Не слід очікувати від досліджень у галузі фундаментальних наук швидких результатів. Най-

частіше існує значний часовий інтервал між фундаментальними дослідженнями, відкриттями та їхнім застосуванням. Твердження, що можна якимись шляхами, адміністративними чи іншими, скоротити цей інтервал, міф. Фундаментальна наука має внутрішні, важко пояснювальні закономірності, об’єктивну логіку. Практичний вихід багатьох фундаментальних досліджень непередбачений.

Із прагнення планувати фундаментальну науку, зазвичай, нічого не виходить. Як і мистецтво, література, фундаментальні дослідження не можуть бути заплановані. Якщо з’являються так звані цілеспрямовані фундаментальні дослідження, то це вже само собою якимось обмежує їхній розвиток. Потрібна повна свобода наукової творчості, не обмежена якимись рамками. Один із творців сучасної фізики Е. Фермі, стверджував, що досвід показує випадковий характер наукової діяльності. Кожний учений вільно обирає власний предмет дослідження. Такий підхід єдиний гарант того, що жодна, справді важлива лінія дослідження, не буде упущена.

#### ЩО ЗАВАЖАЄ РОЗВИТКОВІ НАУКИ?

**ЛЖЕНАУКА.** Йдеться про побудову теорій, концепцій, заснованих на помилкових дослідженнях. Очевидно, ті чи інші вияви лженауки можна знайти в будь-яких спеціальностях. Безперечно, будь-який учений повинен працювати в традиціях своєї науки, виходячи з її норм та ідеалів. Учений може захоплюватися, але завжди має служити істині. Перекручування істини – найбільший гріх дослідника.

Здавалося б, учений може спокійно обминути цю „проблему”, як ми спокійно обминаємо ящик зі сміттям. І справді, вмістом його більше займаються ті, хто вивозить сміття на смітники. Журналісти теж цікавляться цією „проблемою” і навіть пишуть спеціально про міфи, про псевдонаукові відкриття, наприклад, про підземне „місто мертвих”, про рослини, що думають, про літаючі тарілки та інші псевдосенсації.

Однак є і прямі важкі удари, яких зазнає справжня наука і від яких терплять справжні вчені, дослідники, що завжди жили за „гамбурзьким рахунком”. Усім відомі широко рекламовані в радянські часи шкідливі ідеологізовані теорії Т. Лисенка, О. Лепишинської. Тоді таких „учених” підтримували, тому що вони, чи їхнє оточення, переконували партійних лідерів у своїй високій відданості ідеалам марксизму-ленінізму. Що більше вони стверджували, що їхні праці – „внесок” у загальну справу побудови „світлого майбутнього”. Водночас багато серйозних закордонних праць в галузі філософії, соціології, економіки піддавалися жорсткому „критичному аналізу” з позицій „діалектичного матеріалізму”. Запитаймо – а чи не були такі „наукові

аналізи" самі собою ще одним варіантом лженауки? Крім того, такий підхід явно порушував етичні проблеми наукової творчості, хоча радянські філософи активно повчали, як треба „розвінчувати претензії" буржуазної (!) науки.

Псевдонаукові концепції, теорії, як і псевдонаукові вишукування можливі й за сучасних умов. Акцентуовані особистості, а також люди з явною психопатологією можуть і нині працювати в наукових установах і створювати свої „здобутки", робити „відкриття". Ця тенденція особливо простежується в онкології: час від часу з'являються люди, що знаходять способи лікування раку і наполегливо „впроваджують" свої псевдонаукові методики порятунку хворих. Вражає те, що часто цим займаються не медики, не онкологи, а люди, які шукають слави чи матеріальних благ, не маючи фахової освіти. Можна розгорнути будь-яку газету і побачити ліцензованих рятувальників, цілительів, знахарів і навіть „видатних телечаклунів" сторіччя. Вони знімають „причину" (що це таке?), „уроки" (?), „все зле та лихе", „обмови" і взагалі „захищають від впливу чорних сил" (?). Дивно довірливі у нас люди! Наївно вірять у „старовинні замовляння" і твердять, що вони „допомагають". Можливо, треба вивчати цих своєрідних екстравертів, що прагнуть допомогти хворим і немічним? Яка в них психіка, їхня система цінностей, чим зумовлена їхня впевненість у собі, своєму (вродженому) „таланти"?

**НАУКОВИЙ КІЧ.** Мова йде не про помилки в наукових дослідженнях, – не про лженауку, а про шум як поняття в інформатиці, – про наукову макулатуру. Це можна назвати науковим кічем. Кіч (нім. – *kitch*), як відомо, дешевка, несмак, масова продукція, розрахована на зовнішній ефект. У мистецтві кіч – це вияв масової культури: стандартизація, примітивізм, конформізм, культ успіху. На жаль, усе це притаманне і деяким псевдонауковим дослідженням і безлічі наукових публікацій. Такими опусами заповнені збірники тез, матеріалів, і численних наукових зборів (симпозіумів, конференцій, з'їздів і навіть конгресів). Іноді кіч виявляється у вигляді наукової графоманії: багатьох варіантів однієї й тієї ж статті; тез у різних виданнях.

В СРСР явище наукового кічу було особливо поширеним. Цьому сприяло начебто й розумне рішення – публікувати основні положення дисертації. Таку вимогу встановив ВАК в одній з етапних інструкцій. До речі, їх розширювали, змінювали, але радикально не скорочували. Обсяг потрібних паперів (не потрібних! Їхня кількість поза здоровим глуздом) у ВАК упродовж багатьох років зростав. Можливо, тепер візьме гору простий підхід? Навіщо стільки паперів для атестації дисертації і науковця?

Отже, виділимо причини і сутність наукового кічу: непродуманість теми дослідження; поверховість, недостатня глибина дослідження; методична бідність; прагнення використовувати без потреби новітні методи; принцип повторення чужих досліджень (не прямий плагіат, а здубльовані дослідження, нерідко гіршої якості); заміна конкретної дослідницької, пошукової роботи міркуваннями, поясненнями, псевдофілософськими трактуваннями; багато публікацій, частіше у вигляді тез, результатів одних і тих же досліджень (прагнення заробити вищий рейтинг не завдяки якості, а за допомогою кількості публікацій).

Це основні, але не всі спонукальні чинники і варіанти наукового кічу. До цього своєрідного синдрому вже звикли, його не зауважують, щоби́льше, сприймають як належне. Численні збірники, що випускають різні інститути, є притулком і водночас бідним провінційним цвинтарем для таких псевдонаукових праць. Гірко, що на цей цвинтар потрапляють часом і добрі, важливі, глибокі дослідницькі праці. Вони загубляться серед стандартних повторів.

На жаль, у нашій пострадянській дійсності збереглось безліч і таких видань, як: методичні посібники, методичні рекомендації, методичні листи. Це – псевдонаукова чи колонанукова макулатура. Якщо це справді нові методики чи їхні варіанти, то чому б їх не опублікувати в спеціалізованих наукових журналах? Особливо цим грішать рекомендації чиновників-освітян. Вони вимагають, щоб при присвоєнні звання доцента і професора кожний (!) претендент на це звання мав „методичні рекомендації", затверджені, видані в друкарні, або на різнографі у кількості 100–200 примірників. Найчастіше такі „рекомендації" і створюються, а після присвоєння звання вони відразу відправляються туди, де звичайно відправляється макулатура.

## ВИСОКА НАУКА

Термін висока наука означає такий рівень науки, який має бути у будь-яких дослідженнях, будь-якій спеціальності. Це передусім найсерйозніше ставлення до об'єкта дослідження, а далі – до продуманості наукової ідеї, максимальне занурення в дослідницький процес, добір і використання найсучасніших і адекватних методик. Нарешті, одержання справді високих результатів, максимально значущих за глибиною та якістю. Це і є, на нашу думку, висока наука. Тут важливий підхід до дослідницького процесу і, звичайно, результати. Відомо, що існують аналогічні дефініції в інших сферах життя. Наприклад, кажуть – „висока технологія", „висока промислова технологія", „високе мистецтво" і навіть часто ми чуємо про „високу моду" (до речі, про таку моду навіть пишуть іноді з великої літери – „Висока"). Застосовують і термін „ноу-гау" (*know-how* – „знаю як"), що також означає основу цих понять,

тобто висока технологія. Або гай-тех (англ. *high tech* – високий і грец. *techne* – майстерність) висока техніка, новітня технологія. Високоякісне відтворення звуку на звукозаписувальній апаратурі визначають – гай-фай (англ. *hi-fi*, скорочено від *high* – високий і *fidelity* – правильність, точність). Таку роботу можуть виконувати лише професіонали, добре, ні – відмінно, підготовлені у середній і вищій школі. До речі, у США державні середні 12-класні технічні школи так і називають – висока школа – гай скул (*high school*).

У визначенні „висока наука”, передусім важливо наголосити, що в основі її має бути деяке фундаментальне або важливе практичне завдання, тобто глибока наукова ідея. Це підґрунтя для подальших пошуків. Ідея сама собою ще не визначає шляху розкриття проблеми. Підбір способу дії, методики і методології пошуків і досліджень – другий етап роботи. Неадекватні методики у дослідженні можуть заплутувати, а не розкрити сутність, що лежить в основі ідеї. Вибір методик надзвичайно важливий етап – їхня велика кількість не завжди розв’язує проблеми. Потрібні методики, які б повністю дали змогу розкрити шукане. Багато хто із дослідників, особливо деякі дисертанти, намагаються „набрати” якомога більше методик, щоб показати, на їхню думку, глибину дослідження. А насправді може статися зовсім протилежне. Буде втрачено багато часу й коштів для непотрібних досліджень, неадекватних завданню. Пошук і випробування нових методичних прийомів можуть допомогти знайти свій, зовсім новий, незаявлений шлях для розв’язання, якщо не всієї проблеми, то її спеціальних питань. По-третє, важливою є й „чистота” роботи. Тобто майже в кожному дослідженні слід виділити контрольні групи. Принаймні в біологічних і медичних наукових працях, дисертаціях контрольна група, перевірок дослідження дають змогу отримати чисті результати. Для цього треба застосовувати ті ж методичні прийоми, що й для основних груп. Нарешті, по-четверте, аналіз – порівняння інформації, отриманої за допомогою різних методик. Це опис, викладення на папері всього, що зроблено, в певній послідовності, тобто ідея роботи, конкретні завдання, методичні прийоми, отримані результати, (порівняння з попередніми, опублікованими працями), висновки, список посилань – праці попередників. Це має бути процес цілком об’єктивний, хоча водночас – суб’єктивний, але глибоко інтелектуальний, бо трактуючи можна допустити помилки. Аналіз результатів дослідження завжди завершується синтезом, який може бути у вигляді висновків. І ось тут творчий процес також дуже важливий. Висновки не повинні перебільшувати чи применшувати того, що було отримано, а чітко, стисло показати – що отримано в кожному розділі дослідження, що з’явилося нове. Якщо ці етапи виконано на високому рівні, то це можна озна-

чити дефініцією висока наука. Не треба думати, що „висока наука” – це обов’язково якесь відкриття. Насправді таке дослідження може значно поглибити знання предмета, бо воно доведене до „цілковитої досконалості” (*ad unguem*), „у найкращій формі” (*in optima forma*), за всіма вимогами. Незважаючи на те, чи це було відкриття в галузі фундаментальної чи прикладної науки. Зазначмо, що формулювання й послідовність етапів дослідження можуть дещо відрізнятися за вимогами до тез, статей у журналах, регламентованих правилах для дисертацій. До речі, для останніх розроблено, як відомо, жорстку схему: актуальність роботи; зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мета і завдання дослідження; об’єкт і предмет дослідження; методи дослідження; наукова новизна отриманих результатів; практичне значення отриманих результатів; особистий внесок здобувача; апробація результатів дисертації; публікації. Все це відносять до „вступу”, а потім виділяють ще „основну частину”. Добре, якщо все це зроблено чесно, ретельно, максимально об’єктивно, якщо вказані труднощі й власні помилки, окреслено перспективи подальших досліджень. Звичайно, головне – отримані результати. Хай це не відкриття, а назовемо так – уточнення, поглиблення, виправлення уже відомого.

До речі, для чого захищають дисертації? Заради прагнення до кар’єри, поліпшення матеріальної ситуації, для самоствердження або як результат пошуку відповіді на конкретне наукове запитання? Усі ці стимули присутні. Однак іноді на останньому місці – суто наукове зацікавлення. І це реалії нашого недавнього минулого й сьогодення. Тому що й досі побутові прагматичні інтереси здебільшого переважали наукові. Побутова невлаштованість молодих фахівців, матеріальні труднощі штовхали їх у науку, тому що це був, якщо не єдиний, то найпрестижніший шлях хоч до якогось матеріального добробуту. Наукові зацікавлення, прагнення до пошуку в таких молодих „учених” нерідко були відсутні чи майже завжди стояли на останньому місці. Здебільшого цим пояснюється дублювання тематики, безліч непотрібних дисертацій. Їхній „тираж” – п’ять примірників – ставили на полицю й відразу забувався. Декілька десятків авторефератів, що їх публікував кожний дисертант друкарським способом (чомуś на таких виданнях зазначали „на правах рукопису”), розсилали в інститути й рідко доходили до читача. Тим паче, що багато медичних дисертацій не мали прикладного значення. Іншими словами, вони не були пошуком методів лікування конкретних захворювань, їхньої етіології чи розробленням нових лікарських препаратів. Найчастіше в таких працях ставилася лише мета перевірити ефективність препаратів при різних захворюваннях.

Лише деякі дисертації мають прикладне значення, що відповідає щоденним вимогам життя. Найчастіше в медицині трапляються дослідження, які необгрунтовано претендують на фундаментальні. Кар'єра – позитивне явище, якщо прагнути до великої свободи творчості. Бажання стійкості, стабільної роботи, захисту своїх наукових позицій, розширення і поглиблення досліджень – це можна пояснити, це – прагнення зрозуміти.

Відстоюючи думку про потребу якось кваліфікувати наукові роботи, що зроблені з високим рівнем відповідальності, із залученням усіх можливих сучасних підходів, можна було б запропонувати вивчення оцінки діяльності лавреатів Нобелівської премії, точніше – формулювання, за що присуджується така премія. Відомо, що починаючи з 1901 року і до 1999 року Нобелівською премією з фізіології та медицини нагороджено 169 осіб. Перші два десятиріччя присудження премій (1901–1920) частіше були сформульовані з такими початковими словами: „За роботу...”, „Як визнання заслуг...”, „За дослідження...”, „За внесок...”, „За визнання праць...”. Пізніше – „За відкриття...”. І рідко застосовували таке обгрунтування: „За досягнення...” або „За розвиток...”.

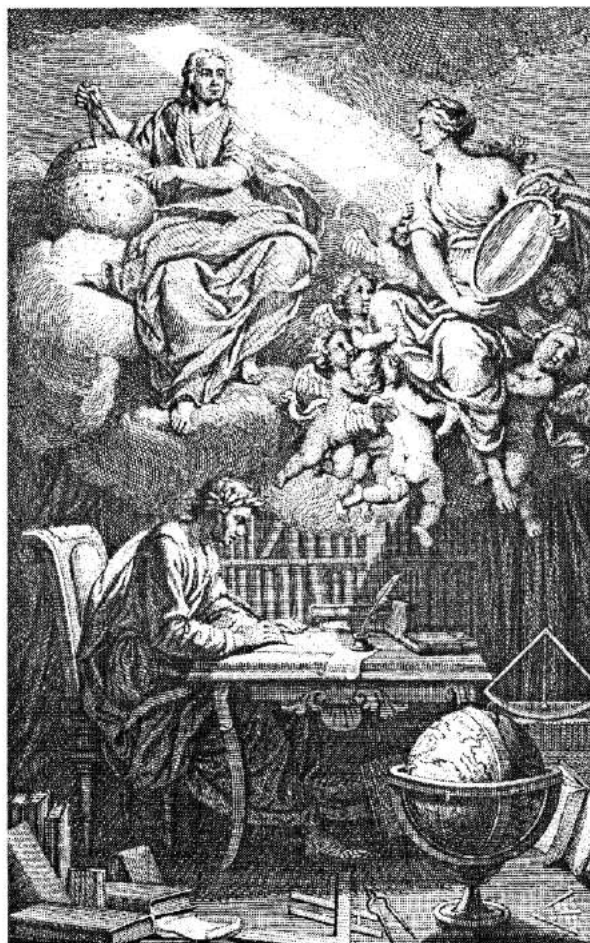
Нобелівські премії присуджують не тільки за суто фундаментальні дослідження, що розкривають основу природних механізмів, а й за прикладні. Подібне прикладне дослідження зробили Андре Курнан, Вернер Форсман, Дікінсон Ричардс 1956 року. Воно розкрило можливість катектризації порожнини серця й вивчення патологічних змін системи кровообігу. Це були високі дослідження, бо вони привели до нових результатів і були виконані завдяки конкретним технічним або медичним ідеям.

Аллану Кормакові і Годфрі Хаунсфільдві 1979 року присуджено премію „За розроблення комп'ютерної томографії”, яка відкрила нові можливості діагностики захворювань. Варто згадати, що в заповіті Альфреда Нобеля (листопад 1895 року) було чітко сформульовано, за які досягнення мають надавати премію. Він писав, що відсотки з його капіталу „потрібно розподілити на п'ять рівних частин, які призначаються: перша частина тому, хто зробив *найважливіше відкриття або винахід* у галузі фізики, друга – тому, хто здійснив *велике відкриття або удосконалення* в галузі хімії, третя – тому, хто досягнув *видатних успіхів* у галузі фізіології або медицини, четверта – тому, хто створив *найвидатніший літературний твір*,

що відображає людські ідеали, п'ята – тому, хто зробив вагомий внесок в об'єднання народів, ліквідацію рабства, зниження чисельності армій й сприяння мирній домовленості”.

І нарешті. Щодо публікацій досліджень з високої науки. Рейтинг досліджень, імпаکت-фактор якихось опублікованих наукових праць показують порівняно об'єктивно, чи перебуває та або інша праця у сфері зацікавленості багатьох дослідників. Посилання в літературі (індекс цитування) на праці, що наводилися раніше, здебільшого й стосуються таких досліджень, які можна назвати терміном „висока наука”. Інакше – послідовники, які працюють у тому ж напрямі, бачать, що автори, які працювали перед ними й опублікували свої дані, використали весь сучасний арсенал підходів і методик для того, щоб розкрити якесь явище або розробити новий шлях для подальших досліджень.

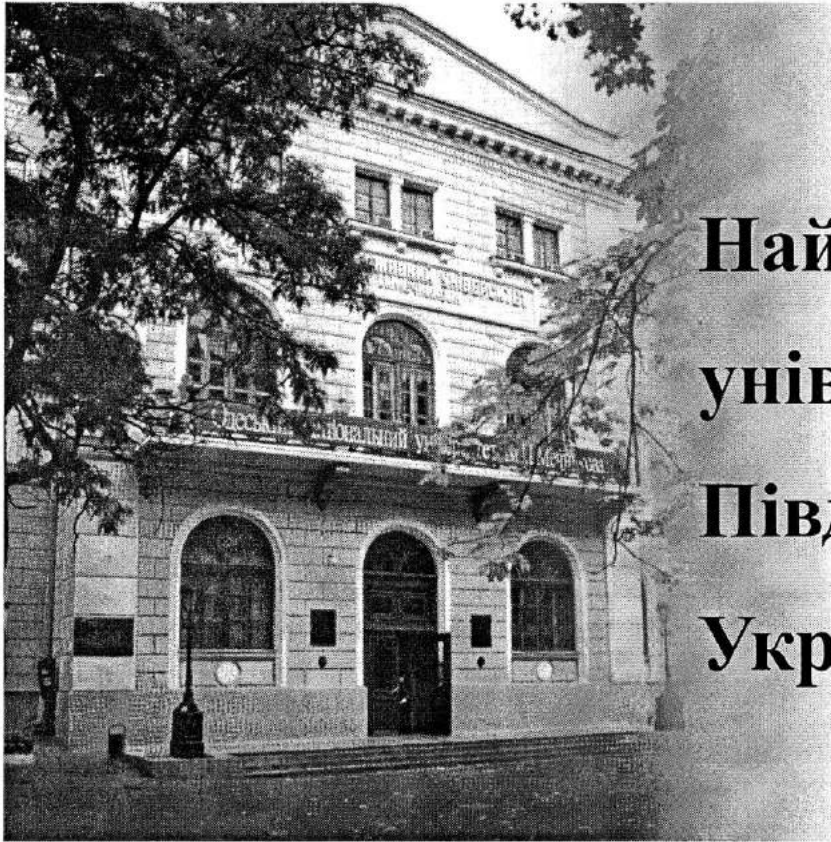
Отже, на будь-якому етапі досліджень і викладенні їхніх результатів неприпустимі поверховість, недбалість, непродуманість, поспіх. Висока наука, навпаки, це – продуманість усіх деталей, заглиблення у пошук, ретельність, тобто все, що характерне майстерності, професіоналізму.



*„Храм науки – будівля багатогранна.  
Різні люди, що перебувають у ньому,  
і духовні сили, що привели їх туди”*

Альберт Айнштайн





## Найстаріший університет Півдня України –

# Одеський національний університет ім. І.І.Мечникова

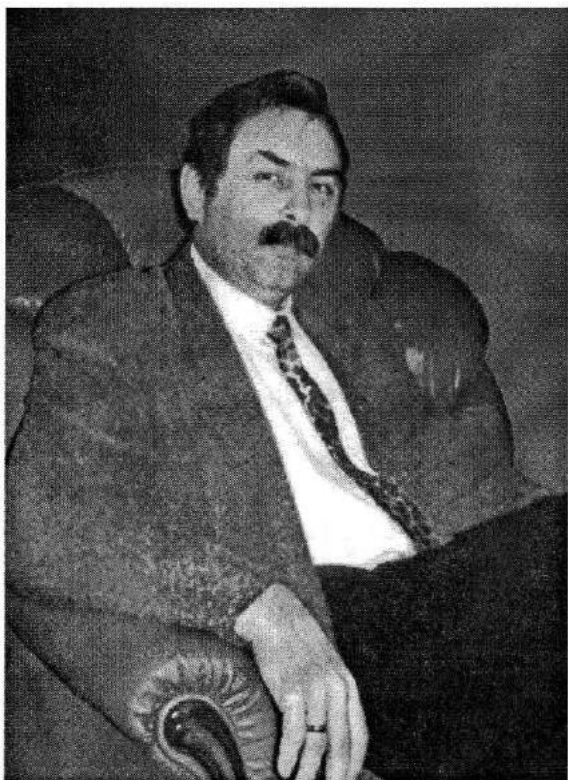
Одеський національний (Імператорський Новоросійський) університет ім.І.І.Мечникова було засновано 1(13) травня 1865 року на базі Рішельєвського ліцею. Перший навчальний рік у ньому почався 7 вересня 1865 року на трьох факультетах: фізико-математичному, історико-філологічному та юридичному.

Від дня створення університет посідає одне з чільних місць у формуванні освітянської системи, у розвитку наукових досліджень і культури в Україні. Він є одним з найстаріших перших університетів нашої держави і разом з Київським, Львівським і Харківським університетами визначає і визначає стан і перспективи розвитку освіти, науки і культури в освітянській мережі України. У світовому рейтингу Одеський університет посі-

дає почесне 48-е місце серед кращих університетів світу, він має високий міжнародний авторитет.

Враховуючи загальнодержавне і міжнародне визнання результатів діяльності та вагомий внесок у розвиток національної вищої освіти і науки, Указом Президента України від 11 вересня 2000 року Одеському державному університетові надано статус національного.

Серед відомих учених, які працювали й вписали яскраві сторінки в історію університету, варто відзначити таких діячів: І.І.Мечников – лавреат Нобелівської премії, фізіолог І.М.Сеченов – засновник вітчизняної філології, перший президент АН України, академік, мікробіолог Д.К.Заболотний, фізик-теоретик,



*Ректор Одеського національного університету ім. І.І.Мечникова, академік В. А. Сминтина*

засновник математичного відділу Новоросійського товариства природознавців М.О.Умов, академік, ботанік В.І.Липський, біолог О.О.Ковалевський, фізик Ф.Н.Шведов, академік АН СРСР, засновник всесвітньовідомої школи хіміків-органіків М.Д.Зелінський, академік Російської АН та АН СРСР, історик і археолог Ф.І.Успенський, академік, член президії НАН України, засновник Фізико-хімічного інституту НАН України О.В.Богатський, член-кореспондент АН УРСР, засновник Одеського планетарію астроном В.П.Цесевич, математики М.Г.Крейн, О.І.Ляпунов та І.М.Занчевський, прославлений історик М.Є.Слабченко, славіст В.І.Григорович, зоолог Д.К.Третьяков, геолог А.М.Криштофович, хімік Л.В.Писаржевський та багато інших.

Троє з шести президентів Академії наук України працювали професорами університету: академіки Д.К.Заболотний, В.І.Липський, О.О.Богомолець. Нинішній віце-президент НАН України академік І.Ф.Курас – випускник ОНУ. В університеті сьогодні працюють 8 лавреатів Державних

*„Університет – це храм освіти і науки,  
в якому ми живемо і працюємо.  
Університет – це святиня,  
зберігати та примножувати яку  
нам випала честь”*

**В. Сминтина**

премій (четверо стали лавреатами за останні 5 років), 7 заслужених працівників освіти та діячів науки і техніки.

Перебуваючи в евакуації під час Другої світової війни в Одеському університеті, єдиному серед інших університетів України робота не припинялась.

Слід зазначити, що значна частина вищих навчальних закладів на півдні України створена на базі факультетів університету: Одеський державний медичний університет, Одеський державний економічний університет, Одеська національна юридична академія.

Одеський національний університет ім. І.І.Мечникова акредитований у повному обсязі за IV рівнем акредитації. Згідно з наказом Міністерства освіти від 04.03.1998 року підготовка спеціалістів здійснюється за багатоступеневою системою: бакалавр, спеціаліст, магістр.

Основна мета університету – готувати кваліфіковані кадри для забезпечення потреб різних галузей господарства та виробництва у фахівців з освіти, науки, мистецтва, економіки, права, підприємництва тощо. Це зазначено в Статуті університету.

Університет готує фахівців на підставі відповідної ліцензії за такими напрямками: філософія (спеціальність – філософія), історія (спеціальності – історія, етнологія), міжнародні відносини (спеціальності – міжнародні відносини, міжнародні економічні відносини), філологія (спеціальності – українська мова і література, мова і література – з зазначенням мови, прикладна лінгвістика, переклад), психологія (спеціальність – психологія), соціологія (спеціальність – соціологія), політологія (спеціальність – політологія), економіка та підприємництво (спеціальності – економічна теорія, облік і аудит), менеджмент (спеціальності – менеджмент організацій, менеджмент зовнішньоекономічної діяльності), право (спеціальність – правознавство), фізика (спеціальності – фізика, астрономія), хімія (спеціальність – хі-



мія), біологія (спеціальності – біологія, мікробіологія та вірусологія), географія (спеціальність – географія), геологія (спеціальності – геологія, гідрогеологія), математика (спеціальність – математика), прикладна математика (спеціальність – прикладна математика), механіка (спеціальність – механіка), комп'ютерна інженерія (спеціальність – комп'ютерні системи та мережі), журналістика (спеціальності – видавнича справа та редагування, журналістика).

Навчальний процес в університеті забезпечують три інститути (Інститут математики, економіки, та механіки, Інститут соціальних наук, Інститут післядипломної освіти) та 10 факультетів – історичний, філологічний, романо-германської філології, економіко-правовий, біологічний, геолого-географічний, хімічний, фізичний, філософський та факультет доуніверситетської підготовки. Діють спеціалізований деканат роботи з іноземними студентами, підготовче відділення для іноземців, коледж підприємництва та соціальної роботи ОНУ. В ОНУ працюють 76 кафедр, магістратура.

В аспірантурі, яка є однією з найбільших в Україні, навчаються понад 500 осіб за 85 спеціальностями. Щорічно захищають кандидатські дисертації майже 30 осіб.

У докторантурі щорічно працюють понад 30 докторантів, третина з них захищають докторські дисертації.

В ОНУ діє 7 спеціалізованих рад, в яких захист дисертацій здійснюється за 29 спеціальностями.

Одеський університет ім.І.І.Мечникова створив на півдні України нову розгалужену систему навчальних центрів у містах Миколаєві, Херсоні, Первомайську, Іллічівську, Южному, Білгороді-Дністровському, Теплодарі. Ця мережа набула загальнонаціонального значення, відкривши доступ до вищої освіти там, де молодь про це лише мріяла.

Освітня діяльність проводиться також на Підготовчому відділенні для громадян України та Підготовчому відділенні для громадян зарубіжних країн.

Міжнародне визнання ОНУ підтверджується і тим, що майже 40 відомих університетів світу співпрацюють з університетом за довготерміновими угодами, зокрема за п'ятьма проєктами TEMPUS-TACIS, численними програмами INTAS, ОНУ-ХАУ, CRDF тощо.

Наукові дослідження зосереджено у 28 наукових підрозділах, серед яких 4 науково-дослідних інститути, 8 науково-дослідних центрів, 14 проблемних та галузевих науково-дослідних лабораторій.

Одеський національний університет ім. І.І.Мечникова є загально визнаним вищим навчальним закладом у групі класичних університетів, національним, науковим та культурним центром України.

### Фізичний факультет

Фізичний факультет – найстаріший факультет університету. Йому, як і університетові, 13 травня 2000 року виповнилось 135 років.

Першим деканом тоді фізико-математичного факультету (1865–1868) був хімік М.М.Соколов. Після нього деканом став фізик – професор В.І.Лапшин (1868–1870). Багато для розвитку фізики на факультеті зробили видатні науковці: професор Ф.М.Шведов (працював деканом у 1877–1880 і 1889–1995 рр., з 1895 до 1903 р. він був ректором університету), який багато уваги приділяв створенню експериментальної бази, Р.Я.Берлага (декан 1938–1939 рр.), Т.І.Томашпольський (був деканом під час евакуації університету в Байрам-Алі у 1941–1944 рр.), М.М.Васильєв, О.О.Брюханов, Т.Я.Сьора, М.І.Гаврилов, які були деканами у наступні роки.

1960 року фізико-математичний факультет був поділений на фізичний і механіко-математичний.

Багато уваги приділяв чіткій організації навчального процесу професор Д.І.Поліщук (декан 1960–1968 рр.). У подальший розвиток університету і факультету значний внесок зробив і професор В.В.Сердюк (декан факультету в 1968–1975 рр., ректор університету в 1975–1987 рр.).

У цей час активно розвинулись наукові дослідження, особливо прикладного характеру, багато було зроблено для оснащення сучасним обладнанням загальних та спеціальних фізичних практикумів. У 1975–1981 рр. факультет очолював професор М.М.Чесноков, який значно поліпшив матеріальну базу факультету. З 1981 року деканом факультету був обраний професор Г.Г.Чемересюк.

Сьогодні на факультеті ведеться підготовка бакалаврів, спеціалістів й магістрів із двох спеціальностей – „Фізика” та „Астрономія” на п'яти відділеннях: педагогічному, науково-виробничо-



*Декан фізичного факультету  
Одеського національного університету  
ім. І.І.Мечникова  
професор Г.Г.Чермерсюк*

му, менеджменту науки і наукоємних технологій, комп'ютерної фізики, медичної фізики діагностичного і лікувального обладнання, астрономії.

Студенти факультету спеціалізуються на шести кафедрах за такими спеціалізаціями:

- 1. Фізика напівпровідників та діелектриків** – на кафедрі експериментальної фізики, завідувачем якої є ректор університету професор В.А.Сминтина.
- 2. Хімічна фізика** – на кафедрі загальної і хімічної фізики.  
Завідувач – професор А.Н.Золотко.
- 3. Теплофізика дисперсних систем і фізика низькотемпературної плазми з конденсованою фазою** – на кафедрі теплофізики.  
Завідувач – професор В.В.Калінчак.
- 4. Фізика твердого тіла і твердотільної електроніки** – на кафедрі твердого тіла і твердотільної електроніки.  
Завідувач – доцент В.І.Солошенко.
- 5. Теоретична фізика** – на кафедрі теоретичної фізики.  
Завідувач – професор В.М.Адамян.
- 6. Астрофізика** – на кафедрі астрономії.  
Завідувач – професор В.Г.Каретніков.

Науковою базою підготовки бакалаврів, спеціалістів і магістрів є університетські Науково-дослідницький інститут фізики, НДІ „Астрономічна обсерваторія”, Інститут горіння і нетрадиційних технологій і сім факультетських науково-дослідних лабораторій.

Ведеться успішна підготовка науково-педагогічних кадрів високої кваліфікації через аспірантуру і докторантуру. Активно працюють дві спеціалізовані ради із захисту докторських і кандидатських дисертацій, що забезпечують усі факультетські спеціальності, з яких відкрито аспірантуру.

Наукові дослідження в підрозділах факультету проводяться за такими пріоритетними науковими напрямками: теорія конденсованого стану, фізика неупорядкованих систем, фізика дисперсних систем, фізика напівпровідників і діелектриків, фізика твердого тіла, макроелектроніка і газодинаміка горіння і вибухів, кінематика і фізика зір.

За результатами наукових досліджень щороку публікується майже 200 наукових праць в українських і закордонних періодичних виданнях, а також у матеріалах конференцій і семінарів. Факультет редагує видання періодичних наукових збірників „Фотоелектроніка”, „Фізика аеродисперсних систем”, журналу „Odessa Astronomical Publication”.

Наукові досягнення вчених факультету мають всеукраїнське і міжнародне визнання. Підтвердженням цього є те, що з 24 докторів наук на факультеті більш ніж третина є академіками галузевих академій України, членами найавторитетніших міжнародних наукових товариств. Відомі в Україні та за її межами, створені на базі кафедр і науково-дослідних підрозділів факультету, наукові школи з фізики рідкого стану, з проблем фізики аеродисперсних систем, з нерівноважних процесів в об'ємі та на поверхні напівпровідників, з фізики горіння дисперсних систем, з фізичних основ електротехніки, астрофізики сталих і змінних зір, малих тіл Сонячної системи та штучних супутників Землі.

Колектив факультету підтримує тісні наукові зв'язки з університетами і науково-дослідними закладами багатьох держав світу – США, Росії, ФРН, Фінляндії, Італії, Ізраїлю, Словаччини, Польщі, Біларусі, Казахстану та іншими.



Шведська Королівська Академія Наук присудила Нобелівську премію з фізики 1996 року американським фізикам-експериментаторам Девідові Лі (D. M. Lee), Робертові Річардсону (R. C. Richardson) (Корнельський університет, США), Дугласові Ошерофу (D.D. Osheroff) (Стендфордський університет, США) за відкриття надплинності в рідкому  $^3\text{He}$ .

## НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

# 1996

### Надплинний гелій-3



Девід Лі



Роберт Річардсон



Дуглас Ошероф

Відкриття надплинних фаз рідкого гелію з атомною масою 3, яке зробили в Корнельському університеті американські фізики Дуглас Ошероф, Роберт Річардсон та Девід Лі стало однією з вражаючих подій у фізиці 1970 років.

Д. М. Лі народився 20 січня 1931 року в штаті Нью-Йорк (США), 1959 року захистив докторську дисертацію в Йельському університеті.

Р. К. Річардсон народився 26 червня 1937 року в штаті Вашингтон. Докторську дисертацію захистив 1966 року.

Дуглас Д. Ошероф народився 1945 року в штаті Вашингтон. Докторську дисертацію захистив 1973 року в Корнельському університеті.

Надплинні фази  $^3\text{He}$  існують за рекордно низьких температур, всього майже 0,002 К. Дослідження в цій області температур створюють значні технічні труднощі для експериментаторів. Досягнення таких низьких температур стало можливим завдяки успіхам криогенної техніки, яка була започаткована ще в XIX сторіччі. З того часу фізика низьких температур пройшла довгий шлях, який позначений віхами видатних досягнень, які мали визначальний вплив на розвиток як фізики так і техніки. Це і відкриття надпровідності, яке здійснив голландський фізик Камерлінг Онес 1911 року, і відкриття надплинності важчого ізотопу  $^4\text{He}$ , яке здійснив 1938 року легендарний фізик Петро Капица.

Відомо, що всі речовини можуть перебувати в трьох агрегатних станах: газоподібному, рідкому і твердому, переходячи із одного в інший з пониженням температури. Винятком є лише гелій, який залишається в рідкій фазі за нормального тиску аж до абсолютного нуля температур. Вчені це зрозуміли не відразу. К. Онес, уперше зрідивши гелій (1908) і охолодивши його до 1 К, був здивований, що він залишився рідким. Однак К. Онес вважав, що він просто не досягнув температури замерзання гелію, оскільки в ті часи фізики вважали, що існування рідини близько 0 К неможливе, оскільки припиняється тепловий рух атомів, і рідина повинна затверднути.

Після створення квантової механіки і утвердження нових поглядів, стало зрозумілим чому гелій залишається рідким.

У твердому тілі кожний атом здійснює теплові коливання біля відповідного вузла кристалічної ґратки. Зі зменшенням температури енергія (амплітуда) цих коливань теж зменшується, однак за принципами квантової механіки енергія коливань обмежена знизу так званою енергією нульових коливань. Для деякого атома, що коливається в потенціальній ямі, енергія нульових коливань – це енергія найнижчого квантового рівня. Її можна оцінити як  $\hbar\omega$  – добуток сталої Планка на частоту коливань. Якщо глибина потенціальної ями



значно більша за енергію нульових коливань  $U > \hbar\omega$ , тоді атоми локалізовані, як це спостерігається у твердих тілах. Якщо  $U < \hbar\omega$ , тоді локалізація неможлива, і така речовина не кристалізується навіть при 0 К. Якщо ж  $U \approx \hbar\omega$ , тоді все дуже специфічне, наприклад незначна зміна параметрів (прикладання зовнішнього тиску) може привести до кристалізації або плавлення такої речовини. Саме так і відбувається в гелію.

Чому саме в гелію? По-перше, тому, що в нього надзвичайно мала атомна маса: ізотоп  $^3\text{He}$  має три атомних одиниці, а ізотоп  $^4\text{He}$  – чотири. Меншу масу має лише водень. По-друге, гелій інертний газ і взаємодія між його атомами дуже слабка, а отже, і мала глибина потенціальної ями. Ось чому гелій утворює єдину рідину, що не затвердіває аж до 0 К.  $^4\text{He}$  кристалізується при 0 К лише під тиском близько 25 атм., а  $^3\text{He}$  – близько 35 атм.

Важкий ізотоп  $^4\text{He}$  найпоширеніший у природі, тому після зрідження гелію вчені зосередились саме на вивченні властивостей  $^4\text{He}$ . 1920–1930 рр. учені знайшли низку аномалій у поведінці  $^4\text{He}$  за температури 2,17 К. Такої температури досягали шляхом відкачування парів над поверхнею гелію, що кипить. Перший вражаючий факт був таким, досягнувши температури 2,17 К учені зауважили, що кипіння рідини раптово припинилось. Причиною цього могло бути лише різке (у мільйони разів) збільшення теплопровідності рідини. Про такий фазовий перехід свідчить й аномальне збільшення теплоємності в околі температури 2,17. Залежність теплоємності рідкого гелію від температури нагадувала грецьку літеру  $\lambda$ . Тому температуру 2,17 К назвали  $\lambda$ -точкою.

Рідкий  $^4\text{He}$  за температур вищих  $\lambda$ -точки за пропозицією голландського фізика В. Кеєзона називають He-I, а нижче від  $\lambda$ -точки He-II.

Маючи He-II, можна продемонструвати багато дивовижних фізичних ефектів, в основі яких лежить явище надплинності. Петро Капиця назвав відкриту ним 1938 року здатність He-II притікати крізь вузькі щілини і капіляри. Це пояснюється тим, що He-II складається з двох компонент: нормальної і надплинної. На нормальну компоненту, як і на будь-яку рідину, діє сила в'язкого тертя під час протікання через вузькі капіляри. На надплинну компоненту такі сили не діють, вона навіть не обертає лопастих турбін, обтікаючи їх.

Поряд із звичайними звуковими хвилями – коливаннями густини, в He-II можливе поширення хвиль температури, пов'язане з коливаннями концентрації надплинної і нормальної компонент. Ці хвилі отримали назву другий звук. У вузьких капілярах з He-II, у яких нормальна компонента нерухома, в звукових коливаннях брагимо участь лише надплинна компонента. Цей звук, що поширюється у капілярах характерний лише для надплинних рідин називають четвертим. Рідкий  $^4\text{He}$  у стані надплинності належить до квантових рідин.

За яких умов такі рідини можуть виникати? Найголовніша умова – атоми чи молекули мають бути бозонного типу (спін частинки має бути 0, 1, ...). Щоб була надплинність рідкий бозе-конденсат повинен мати відповідний закон дисперсії для елементарних збуджень. Звичайний гелій має й інший стабільний ізотоп  $^3\text{He}$ , який трапляється у природі дуже рідко (майже на 100 мільйонів атомів  $^4\text{He}$  припадає один атом  $^3\text{He}$ ). Рідкий  $^3\text{He}$  за атмосферного тиску має температуру кипіння 3,19 К, майже на градус нижче, ніж температура кипіння  $^4\text{He}$ .

Цікаво, чи зріджений  $^3\text{He}$  теж переходить у надплинний стан. Річ у тому, що атоми  $^3\text{He}$  мають ядерний спін 1/2 і є ферміонами, а не бозонами як атоми  $^4\text{He}$  і утворюють квантову рідину ферміївського типу. Фермі-рідина доволі поширена у природі об'єкт. Так нейтронні зорі складаються з нейтронної Фермі-рідини. Ядра важких елементів теж можна розглядати як краплини протонно-нейтронної Фермі-рідини, але безперечно найвідомішою Фермі-рідиною є електронний газ у металах.

За статистикою Фермі-Дірака у кожному квантовому стані може перебувати лише одна частинка і з цієї причини надплинності  $^3\text{He}$  не повинно бути. Але все ж таки ферміони можуть конденсуватись. Прикладом такої конденсації є спарювання електронів, яке пояснює виникнення надпровідного стану. Вчені, які розробили теорію надпровідності (Дж. Бардін, Л. Купер, Дж. Шріффер) показали, що близько 0 К у металах з'являються зв'язані стани електронів з протилежними імпульсами і спінами. Ці стани можна уявити як молекули, які складаються з двох електронів. Як же з'являється притягання між електронами? Адже вони мають одноіменні заряди і за законом Кулона мусять відштовхуватись. Притягання зумовлене взаємодією електронів із кристалічною ґраткою додатно заряджених йонів. Якісно це пояснюється



так. Кожний електрон поляризує ґратку, притягуючи до себе позитивно заряджені йони, і створює навколо себе надлишкову густину додатного заряду. Під час руху електрона ця „хмаринка” поляризації рухається разом з ним з деяким відставанням. Область поляризації виступає центром притягання інших електронів, тобто електрони опосередковано завдяки зміщенню позитивних йонів, притягуються один до одного. Деформація ґратки мовою квантової механіки описується за допомогою квазічастинок – фононів, тому говорять, що притягання між електронами виникає завдяки обмінній фононами. Спін таких „куперівських” електронних пар дорівнює нулеві і вони є бозе-частинками. Утворення бозе-конденсата із „куперівських” пар зумовлює перехід провідника у надпровідний стан.

Радянський фізик-теоретик Л. Пітаєвський 1959 року зазначив, що рідкий  $^3\text{He}$  може перейти у надплинний стан теж завдяки утворенню бозонної пари, аналогічної до „куперівської” пари. Відразу ж після цього багато експериментаторів почали працювати над проблемою надплинності  $^3\text{He}$ . Однак інтенсивні дослідження впродовж 1960-х років були марними і дехто вже почав вважати, що надплинності в рідкому  $^3\text{He}$  ніколи не вдасться досягнути!

Але праця учених, яким не вдалось отримати надплинний  $^3\text{He}$ , не була марна. Працюючи над проблемою надплинного гелію, вони водночас досягали все нижчих і нижчих температур. Відкачуючи пари над поверхнею рідкого  $^3\text{He}$  учені досягли температури 0,3 К. Для досягнення ще нижчих температур учені взяли на „озброєння” такі методи: метод розчинення  $^3\text{He}$  у  $^4\text{He}$ , метод адіабатичного розмагнетчування і метод адіабатичного стиску. Ідея методу адіабатичного стиску полягає в тому, що стискаючи рідкий  $^3\text{He}$ , рухаючись по кривій плавлення, можна частину рідкого  $^3\text{He}$  перевести в тверду фазу і так понизити його температуру. Саме цей метод охолодження застосували вчені з Корнельського університету Д. Лі, Р. Річардсон та Д. Ошероф. Реальне застосування цього методу отримання рекордно низьких температур пов’язане зі значними технічними труднощами. Досить зазначити, що навіть тертя між твердим і рідким  $^3\text{He}$ , може порушити умову адіабатичності, а як позбутись тертя між іншими елементами пристрою для створення тиску, адже в

цій температурній області всі речовини крім,  $^3\text{He}$  перебувають у твердому стані.

1972 року Д. Лі, Р. Річардсон і їхній молодший колега аспірант Д. Ошероф творчо застосовуючи всі експериментальні здобутки фізики низьких температур, здійснили адіабатичний стиск рідкого  $^3\text{He}$ . Досліджуючи вплив тиску на рідкий  $^3\text{He}$  як функцію часу впродовж якого об’єм повільно зніщувався, молодий учений Д. Ошероф уважніше, ніж його старші колеги поставився до результатів експерименту, і звернув увагу на малопомітні додаткові стрибки на досліджуваній кривій (рис.1).

У багатьох фізичних експериментах такі малопомітні ефекти, зазвичай приписують незначним порушенням у роботі лабораторного обладнання, однак ці вчені були переконані, що їм вдалось зареєструвати справжній ефект. Спочатку вони приписали зазначені особливості фазовим переходам у твердій фазі  $^3\text{He}$ , але досить швидко, досліджуючи поглинання при ядерному магнетному резонансі, вони довели, що фазовий перехід відбувається в рідкій фазі. Це відкриття стимулювало ще інтенсивніші дослідження рідкого  $^3\text{He}$ . Наступного року дослідники з лабораторії низьких температур в Отаніемі (Фінляндія) встановили, що під час А переходу амплітуда коливань струни в рідкому  $^3\text{He}$  зростає, а під час В переходу зростає ще більше. Цей факт вони пояснили зменшенням в’язкості під час переходу рідкого  $^3\text{He}$  в надплинний стан. Два переходи (А і В) відповідають двом надплинним фазам  $^3\text{He}$ . Для переконливого доведення, що досліджувані особливості відповідають

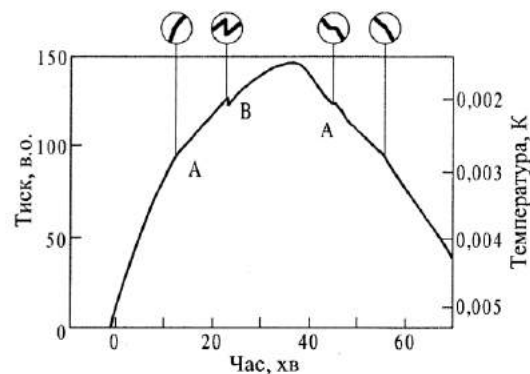


Рис.1. Залежність тиску і температури від часу при адіабатичному стискання рідкого  $^3\text{He}$



фазовим переходам саме надплинного стану, потрібне було пряме спостереження ефектів, які характерні лише для надплинних рідин. Одним з таких ефектів є четвертий звук, що поширюється у вузьких капілярах.

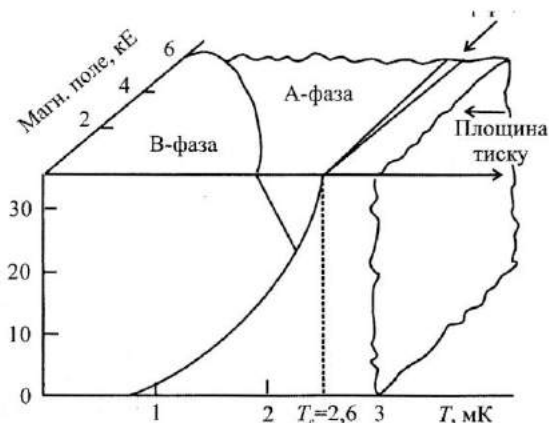


Рис. 2.  $(H-P-T)$ -діаграма надплинних фаз  $^3\text{He}$

Експерименти, в яких спостерігалось поширення четвертого звуку в рідкому  $^3\text{He}$ , вперше виконали 1974 року в Каліфорнійському університеті (США). Ці експерименти показали, що справ-

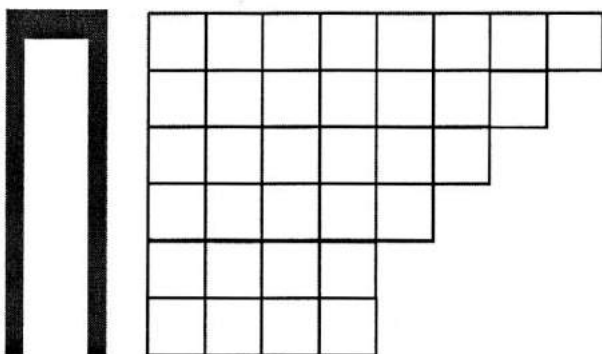
ді за температур нижчих, ніж температура А переходу рідкий  $^3\text{He}$  переходить у надплинний стан. Згодом з'ясувалось, що можливі три надплинні фази  $^3\text{He}$  – А, В та  $A_1$ , умови існування яких зображено на рис. 2: фази А і В розмежовані на фазовій діаграмі переходом I роду, а фаза  $A_1$  існує лише в магнетному полі.

Що ж дало фізиці вивчення надплинного  $^3\text{He}$ ? По-перше фізики освоїли температурну область аж до  $10^{-3}$  К (розробили методи отримання і вимірювання наднизьких температур). Але важливішим є те, що ці дослідження підтвердили правильність фізичної теорії і цим вийшли за межі фізики низьких температур і навіть фізики конденсованого стану. Надплинні фази  $^3\text{He}$  (особливо А) характеризуються просторовою та магнетною анізотропією, тобто одночасно мають риси властиві рідким кристалам та впорядкованим магнетним структурам і є аналогом деяких астрофізичних об'єктів – пульсарів.

Дослідження надплинного  $^3\text{He}$  дали поштовху розвитку багатьох розділів сучасної фізики і по суті, є фундаментальними.

**Олександр Гальчинський,**  
канд. фіз.-мат. наук

У незаповнені клітинки впишіть прізвища вчених, які розпочинаються літерою П.



1. Радіофізик, який разом з мандельштамом створив новий радіоінтерференційний метод поширення радіохвиль.
2. Теплотехнік, який 1765 року вперше у світі побудував двоциліндрову теплову машину безперервної дії.
3. Французький учений, який встановив закон передачі тиску рідинами та газами.
4. Російський учений, який 1802 року відкрив електричну дугу.
5. Фізик, українського походження, що сконструював розрядний прилад, який назвав електричним вентелем.
6. Німецький учений, який відкрив нове випромінювання електромагнетних хвиль.

Із книги Горбань М. М. На уроці та після...



## ЗАДАЧІ 10-го ВСЕУКРАЇНСЬКОГО ВІДКРИТОГО ТУРНІРУ ЮНИХ ФІЗИКІВ 2001/2002 навчального року

### 1. „Вигадай сам”.

На горизонтальному склі лежить сталева кулька діаметром 2–3 см. Придумайте та створіть пристрій, який може розкрутити цю кульку навкруги вертикальної осі до найбільшої кутової швидкості, не торкаючись нього.

### 2. „Вітрила, порвали вітрила”.

Визначте, як залежить ефективність вітрила (коефіцієнт лобового опору) від кількості „дірок” у матеріалі. Яку тягу створює, наприклад, рибальська сітка, якщо виготовити з неї вітрила?

### 3. „Пліт-водомір”.

Як відомо, маленькі тіла, що не змочуються водою, тримаються на ній силою поверхневого натягу. Сконструуйте пліт, що тримається на воді завдяки цьому явищу та розрахуйте його основні параметри як плавучого засобу.

### 4. „Суперпляма”.

Капніть чорнилом на фільтрувальний папір. Визначіть швидкість розтікання чорнильної плями.

### 5. „Дзига–п’ятачок”.

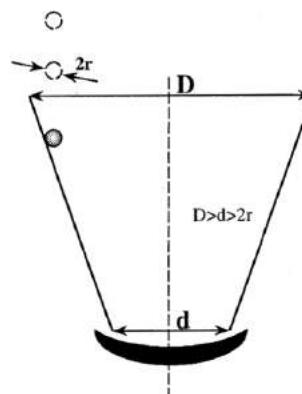
П’ятак поставили на ребро та щигликом запустили обертатися. Дослідіть залежність траєкторії точки торкання п’ятака з площиною залежно від початкових даних.

### 6. „Гумова кулька”.

Дослідіть, як змінюється „поверхневий натяг” надувної кульки залежно від ступеня його заповнення повітрям. Як у такому випадку „поверхневий натяг” пов’язаний з коефіцієнтом жорсткості гуми?

### 7. „Кулька на похилій площині”.

Зробіть з металу двограний кут, величину якого можна змінювати. Дослідіть кількість відскоків кульки до її провалювання в „уловину” як функцію коефіцієнта втрат при ударі, геометричних параметрів системи та початкових умов падіння.



### 8. „Сольовий розчин”.

Дослідіть (експериментально) залежність характерних термодинамічних сприйнятливостей (таких як теплоємність, коефіцієнт теплового розширення) водного розчину столової солі (NaCl) від його концентрації. Порівняйте одержані залежності з аналогічними для іншого розчинника. Поясніть залежності, які Ви одержали.

### 9. „Вода зі склянки”.

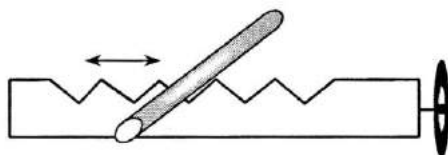
Визначіть граничну кутову швидкість обертання склянки, при якій рідина, що витікає з посудини, все ще буде текти по її зовнішній стінці.

**10. „Тепловий двигун”.**

Довгу циліндричну скляну трубу, запаяну знизу, заповнюють до половини гарячою водою, а потім доверху холодною водою. Після цього в трубу опустіть скляну ампулу в якій міститься декілька крапель ефіру або спирту, причому верх ампули закритий гумовим ковпачком від піпетки. Проведіть спостереження та опишіть явища, що спостерігаються у системі. Як змінюватимуться основні характеристики руху ампули?

**11. „Пропелер”.**

На прямокутну дерев'яну рейку нанесені насічки, як зображено на рисунку. В торці рейки, на шпильці, вільно розташований пропелер. За яких параметрів системи та зовнішнього періодичного руху паличкою вздовж рейки можна добитися максимальної частоти обертів пропелера? Продемонструйте роботу Вашого пристрою. Чи може такий „вентилятор” забезпечувати тягове зусилля?


**12. „Імла”.**

Ліс, що видніється на обрії, здається не зелений, а повитий блакитнуватою імлою. З якої найменшої відстані спостерігається це явище і як воно залежить від стану атмосфери? Чи може ліс здаватися сірим?

**13. „Молочна вода”.**

Інколи, наповнюючи склянку водою з-під крана, можна бачити, що вона стає білою, як молоко. Дослідіть це явище та запропонуйте спосіб визначення кількості „розчиненого” у воді повітря.

**14. „Магнетний маятник”.**

Сконструйте математичний маятник (що виконує коливальний рух у полі земного тяжіння), за зміною характеру руху якого можна було б визначити індукцію магнетного поля Землі.

**15. „Циліндрична лінза”.**

Дослідіть та опишіть, як змінюються основні характеристики „циліндричної лінзи”, яка виготовлена з пластикової прозорої пляшки, залежно від ступеня заповнення її прозорою рідиною.

**16. „Квантовий вихід”.**

Дрібний, добре просушений, кварцовий пісок висипається тоненькою струминкою з короткого капіляра у конічну металеву посудину, з'єднану з електрометром. Дослідіть та опишіть, як поведеться струминка відповідно до заповнення посудини. Що і як змінюється, якщо струминку освітити УФ-світлом?

**17. „Поклик предків”.**

Народна мудрість говорить:

*„Як гукнеш, так і відгукнеться”.*

Проведіть аналіз цієї приказки з фізичної точки зору.

*Завдання ювілейного турніру  
запропонували та підготували:*

**І. Анісімов, П. Віктор, І. Гельфгат,  
А. Камін, В. Колебошин, С. Колебошин,  
Б. Кремінський, В. Кулінський,  
В. Манакін, І. Ненашев, П. Пишеничка**

---

*Ювілейний 10-й турнір юних фізиків відбудеться  
у місті Херсоні в лютому 2002 року.*



# Приборкання велосипеда або історія двох помилок

Олег Орлянський,

доцент кафедри теоретичної фізики  
Дніпропетровського національного університету

*Під лежачий камінь вода не тече!*

Є велика різниця між станом спокою і рухом. Ми часто забуваємо про це, розглядаючи малюнки на аркушах паперу, які призначені дати поштовх нашій уяві та ожити в її віртуальному світі. Якщо задача складна, цих поштовхів вистачає ненадовго, і ми малюємо знову і знову, як художник-мультиплікатор, який намагається послідовністю малюнків створити ілюзію руху. Саме така послідовність статичних образів приводить до апорії про Ахіллеса і черепаха. Ахіллес ніколи не дожене черепахи, оскільки кількість малюнків, на яких він досягає місця, де перед цим була черепаха, нескінченна.

Найчастіше ми припускаємося помилок, сприймаючи ілюзію руху за справжній рух, або переносячи ідеї з одних розділів фізики на інші. Це сталося і з автором статті („Винаходимо велосипед”. Див.: „Світ фізики”. 2001. № 1.). Ідея була така. Для того, щоб їхати на велосипеді „без рук” потрібно, щоб при випадкових малих поворотах керма (зустрічні камінці або нерівна дорога) центр ваги велосипеда піднімався, тобто положення керма, при якому переднє колесо перебувало у вертикальній площині рами, відповідало мінімуму потенціальної енергії. Тоді моменти сил тяжіння і реакцій опори будуть протидіяти випадковим поворотам, швидко зводячи їх нанівець і вирівнюючи рух велосипеда без допомоги людини. Усе було б так, якби велосипед не рухався. Але він рухається, і при повороті керма рухається вже не прямолінійно. У системі відліку „велосипед” виникає відцентрова сила інерції, яка намагається нахилити велосипед у бік, протилежний повороту. Щоб не впасти, велосипедист повинен нахилитися у той бік, куди повернуло кермо, тільки тоді момент сили тяжіння може компен-

сувати момент сили інерції, і, навпаки, якщо велосипед трохи нахилився у якийсь бік, кермо повинно повернути в той самий бік. Парадоксально, але умова стійкої статичної рівноваги відповідає нестійкій динамічній рівновазі. Автор статті зрозумів це вже після її публікації, коли до його рук потрапив журнал „Квант” № 12 за 1970 рік із перекладом статті Джоунса „Стійкість велосипеда”. Джоунс розповідає, як він вивчав проблему стійкості велосипеда: розробив декілька теорій і набрид з ними усім знайомим, вносив у велосипед конструкторські зміни аж до приладнання протиколеса і заміни вилки, нарешті багато їздив на велосипеді „з руками” і „без рук”, водив його поряд, штовхав, спускав з гірки, і багато разів замінював спиці. Стаття має якісний характер. Джоунс наводить результати розрахунків на комп’ютері і обговорює їх. За його думкою, окрім майстерності водія і гіроскопічного ефекту на переднє колесо діє момент сил тертя, який і повертає колесо саме в той бік, у який потрібно, щоб велосипед не впав. Наприкінці статті Джоунс зізнається, що теорії велосипеда він поки що не розробив, так що все це, можливо, тільки колекція курйозів, але у всякому разі принципи були перевірені експериментально.

У „Розв’язках задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2001 р.” („Світ фізики”. 2001. №1.) Володимир Алексейчук також подав розв’язок задачі про велосипед. Причиною повороту керма визнано не момент сил тертя, як у Джоунса, а момент сили нормальної реакції опори. Розв’язок досить переконливий, однак не враховує інших факторів і має якісний характер. Головне питання, яким саме має бути поворот керма, щоб велосипед „повернувся” у вертикальну площину, залишається відкритим.



Яка чудова тема для роботи в Малій академії наук! Справжнє питання, вичерпна відповідь на яке, можливо, нікому ще не відома. Нехай навіть буде декілька робіт. Хто переможе у цьому змаганні? А може саме колективні зусилля юних фізиків дадуть змогу розв'язати проблему велосипеда, з якою так і не змогли впоратись їхні дорослі колеги. Найкращі ідеї, я в цьому впевнений, будуть опубліковані на сторінках журналу „Світ фізики”.

Що можна порекомендувати тим, хто зважиться на такий крок? Як людина, яка більше падала з велосипеда, ніж їздила, можу запропонувати таке:

1. Поїздіть на велосипеді „з руками” і „без рук”, відчуйте, які саме сили керують велосипедом. Спробуйте розібратись у своїх відчуттях.

2. Зробіть модель велосипеда (простіше – самоката), яку можна навантажувати і змінювати нахил керма і довжину вигину вилки. Поекспериментуйте, штовхаючи модель за різних початкових умов.

3. Спробуйте створити математичну модель явища. Пам'ятайте, що часто легше розібратись у крайніх випадках. Наприклад, при великій швидкості руху кути повороту керма повинні бути малими (подумайте чому), отже, радіус кривини траєкторії велосипеда значно більший за його розміри. При малій швидкості (крайній випадок – нульовій) можна знехтувати гіроскопічним ефектом. Подумайте, чи може рівновага якогось велосипеда взагалі не залежати від швидкості руху, а тільки від конструктивних особливостей?

4. Зосередьтеся на одному випадку. Спочатку розгляньте не дуже складні початкові умови. Наприклад, „рама вертикальна, кермо повернуте на кут  $\varphi$ ”, або „переднє колесо у площині рами, яка утворює з вертикаллю кут  $\beta$ ”.

Бажаю успіху, але хочу попередити, що на Вас може чекати багато несподіванок. Наприклад, згадаймо відому задачу про нахил велосипедиста (мотоцикліста, бігуна, ковзаняра), який рухається зі швидкістю  $v$  по колу радіусом  $R$ . Ця задача входить майже в усі відомі збірники задач і є своєрідною класичною задачею для вивчення руху по колу.

Для прикладу наведемо відомий (і, взагалі кажучи, неправильний) розв'язок цієї задачі:

Для того, щоб велосипедист рухався по колу, він повинен нахилитися так, щоб рівнодіюча прикладених до нього трьох сил: тяжіння  $mg$ , реакції опори  $N$  і сили тертя  $F_{\text{тр}}$  надавала йому доцентрове прискорення. Оскільки центр ваги велосипеда не переміщується вздовж вертикалі,  $N = mg$ . Доцентрове прискорення надається силою тертя:

$$\frac{mv^2}{R} = F_{\text{тр}}.$$

Для того, щоб велосипедист не впав, рівнодіюча сил реакції опори і тертя, очевидно, повинна проходити через центр ваги системи (момент рівнодіючої відносно центру ваги повинен дорівнювати нулеві). Отже,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{\text{тр}}}{N} = \frac{v^2}{gR}.$$

Задумаймося: чому момент рівнодіючої відносно центра ваги повинен дорівнювати нулеві? З яких фізичних законів це випливає? Може з умови статичної рівноваги, за якою сума моментів повинна дорівнювати нулеві? Але ж у нас рівновага не статична – тіло рухається! Щоб скористатися умовою статичної рівноваги, треба перейти в неінерціальну систему відліку, яка разом з велосипедистом обертається навколо центра кола зі сталою кутовою швидкістю  $\omega$ . У цій системі відліку на велосипедиста діє відцентрова сила інерції, яка разом з іншими силами забезпечує його статичну рівновагу у нахиленому положенні (див. рис. 1). У науково-популярній книзі Л.Ландау і М. Китайгородського „Фізика для всіх” зазначено, що велосипедист повинен триматися вертикаль-

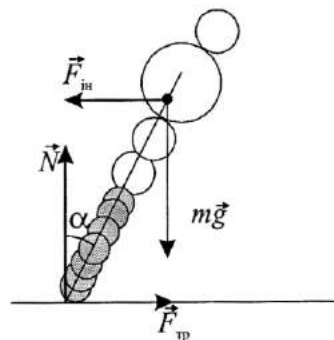


Рис. 1



но, інакше він впаде. Але його вертикаль не збігається із земною, вона спрямована вздовж рівнодіючої сил тяжіння і інерції. Сили

$$mg \text{ і } F_{\text{ін}} = \frac{mv^2}{R}$$

утворюють катети прямокутного трикутника. Отже,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{gR}$$

Знову та ж сама відповідь. Але те, що годиться для книжки, мета якої ознайомити з основними фізичними ідеями, ніяк не підходить для вичерпного розв'язку задачі. І річ не тільки в тому, що з кінцевої формули незрозуміло, яку саме швидкість і радіус якого кола слід брати: того, що окреслюють точки колеса, які дотикаються до землі, чи того, вздовж якого рухається центр ваги системи. Наприклад, у згаданій вище статті з журналу „Квант” стверджується, що велосипедист не падає і не випрямляється (рівнодіюча сили тертя і реакції опори проходить через центр ваги системи), якщо прискорення центра ваги дорівнює доцентровому прискоренню точки дотику колеса з дорогою. Чи може таке бути взагалі, якщо при описаному русі кутова швидкість цих точок повинна бути однаковою, а радіуси їхніх траєкторій різні?

Якщо розглянути суму моментів сил відносно осі, яка проходить через точки дотику коліс і землі, матимемо тільки два ненульові моменти (сили тяжіння і сили інерції), які обертають велосипед у різні боки, і за абсолютним значенням повинні дорівнювати один одному:

$$mgl \sin \alpha = F_{\text{ін}} l \cos \alpha,$$

де  $l$  – відстань від осі до центра ваги системи, який для однорідного поля тяжіння збігається з центром мас, інакше кажучи, центром інерції. Можна довести, що,

$$F_{\text{ін}} = \frac{mv^2}{R},$$

де  $v$  – швидкість центра мас,  $R$  – радіус кола, по якого рухається центр мас системи. Знову знаходимо таку ж саму відповідь, яка неправильна. Річ у тім, що виходячи з наведеного рисунка, правильно розв'язати задачу неможливо взагалі. Рисунок має похибку. Відцентрову силу інерції не можна прикладати до центра мас тіла. У цьому легко переконатися на прикладі двох невеликих кульок

однакової маси надітих на невагомий стрижень, який рухається зі сталою кутовою швидкістю  $\omega$ , описуючи конічну поверхню. У точці, яка розташована посередині між кульками і рухається з тією ж кутовою швидкістю  $\omega$ , міститься центр мас системи. Розгляньмо момент відцентрових сил відносно цієї точки. Якщо вважати, що сумарна відцентрова сила прикладена до центра мас системи, плече цієї сили, а отже і її момент, дорівнюють нулеві. Якщо ж обчислити суму моментів сил інерції, що діють на обидві кульки, момент не дорівнюватиме нулеві. Справді, плечі відцентрових сил, які діють на кульки, однакові, а відцентрові сили різні, оскільки кульки рухаються вздовж кіл різного радіуса (з однаковою кутовою швидкістю). Висновок: **прикладати відцентрову силу інерції до центра мас тіла, яке не вважається матеріальною точкою, взагалі кажучи, не можна.** Отже, рівнодіюча сили тертя і реакції опори через центр ваги тіла не проходить. Щоб розібратися в цьому детальніше і зрозуміти, чим ще з того, до чого ми звикли, можна користуватися, а чим ні, згадаймо, як знаходиться центр мас системи матеріальних точок. Координати центру мас:

$$x_c = \frac{\sum m_i x_i}{m}, \quad y_c = \frac{\sum m_i y_i}{m}, \quad z_c = \frac{\sum m_i z_i}{m},$$

де  $m = \sum m_i$  – загальна маса системи. Тоді у векторному вигляді радіус-вектор центра мас,

$$\vec{r}_c = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{m},$$

де  $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ ,  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$  – вектори одиничної довжини, спрямовані вздовж декартових осей координат. Момент сили відносно точки є векторним добутком радіус вектора на вектор сили:

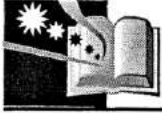
$$\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}].$$

Нагадаймо, що векторним добутком двох векторів є перпендикулярний до них вектор, довжина якого дорівнює добуткові довжини одного вектора на довжину іншого і на синус кута між ними, тобто

$$M = Fr \sin \beta.$$

Оскільки  $r \sin \beta$  – це плече сили  $d$ , маємо „шкільне” визначення моменту сили:

$$M = Fd.$$



Для одиничних векторів виконуються співвідношення:

$$\begin{aligned} [\vec{i}, \vec{i}] &= [\vec{j}, \vec{j}] = [\vec{k}, \vec{k}] = 0, \\ [\vec{i}, \vec{j}] &= -[\vec{j}, \vec{i}] = \vec{k}, \\ [\vec{j}, \vec{k}] &= -[\vec{k}, \vec{j}] = \vec{i}, \\ [\vec{k}, \vec{i}] &= -[\vec{i}, \vec{k}] = \vec{j}. \end{aligned}$$

На довільну  $i$ -ту матеріальну точку системи діє сила тяжіння  $m_i g$ . Отже, загальна сила тяжіння

$\vec{F}_{\text{тяж}} = \sum m_i \vec{g} = \vec{g} \sum m_i = m \vec{g}$  не залежить від форми тіла і спрямована вниз. Визначимо момент сил тяжіння (чи не чекають на нас і тут несподіванки):

$$\begin{aligned} \vec{M}_{\text{тяж}} &= \sum [\vec{r}_i, m_i \vec{g}] = \\ &= \sum [m_i \vec{r}_i, \vec{g}] = [\sum m_i \vec{r}_i, \vec{g}] = [\vec{r}_c, m \vec{g}]. \end{aligned}$$

Як видно, момент сил тяжіння можна визначити, прикладаючи до центра мас загальну вагу тіла  $mg$  (звичайно, мова йде про однорідне поле тяжіння). Такі ж результати будуть для сили інерції в системі відліку, яка рухається прямолінійно з прискоренням  $\vec{a}$ :

$$\vec{F} = -m\vec{a}, \quad \vec{M} = [\vec{r}_c, \vec{F}].$$

Визначимо тепер рівнодіючу відцентрових сил інерції. На  $i$ -ту точку системи діє сила  $m_i \omega^2 \vec{\rho}_i$ ,

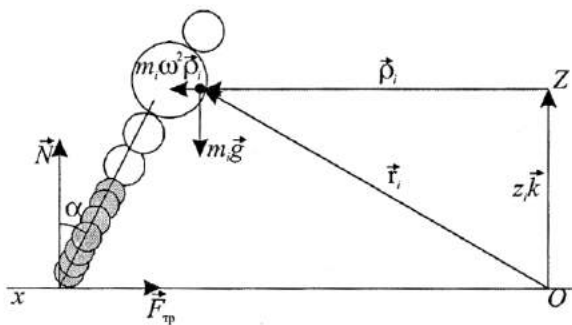


Рис. 2

де  $\vec{\rho}_i$  – вектор спрямований вздовж радіуса кола, за яким рухається матеріальна точка. Вектори  $\vec{\rho}_i$  точок, які не лежать в одній площині з віссю  $OZ$ ,

не є колінеарними. З рисунка видно, що  $\vec{\rho}_i = \vec{r} - z_i \vec{k} = x_i \vec{i} + y_i \vec{j}$ , де  $\vec{k}$  – одиничний вектор, спрямований вздовж вертикальної осі обертання  $OZ$ , а  $\vec{i}$  та  $\vec{j}$  – одиничні вектори вздовж горизонтальних осей  $OX$  та  $OY$ . Відцентрова сила інерції, яка діє на всі точки системи, є

$$\begin{aligned} \vec{F}_{\text{ін}} &= \sum m_i \omega^2 \vec{\rho}_i = \sum m_i \omega^2 (x_i \vec{i} + y_i \vec{j}) = \\ &= \vec{i} \omega^2 \sum m_i x_i + \vec{j} \omega^2 \sum m_i y_i = m \omega^2 (x_c \vec{i} + y_c \vec{j}) = \\ &= m \omega^2 \vec{\rho}_c \end{aligned}$$

Отже,  $\vec{F}_{\text{ін}}$  легко обчислити, зосередивши усю масу тіла в його центрі мас. Саме ця обставина створює ілюзію того, що і момент відцентрової сили слід обчислювати, як момент  $\vec{F}_{\text{ін}}$ , прикладеної до центра мас, тобто

$$\vec{M}_{\text{ін}}^* = [\vec{r}_c, \vec{F}_{\text{ін}}] = [\vec{r}_c, m \omega^2 \vec{\rho}_c] = m \omega^2 z_c (x_c \vec{j} - y_c \vec{i}).$$

Насправді момент відцентрової сили треба обчислювати як суму моментів, що діють на всі частинки системи:

$$\begin{aligned} \vec{M}_{\text{ін}} &= \sum [\vec{r}_i, m_i \omega^2 \vec{\rho}_i] = \sum [\vec{r}_i, m_i \omega^2 (\vec{r}_i - z_i \vec{k})] = \\ &= -\omega^2 \sum m_i z_i [\vec{r}_i, \vec{k}] = \omega^2 (\sum m_i z_i x_i \vec{j} - \sum m_i z_i y_i \vec{i}). \end{aligned}$$

Як видно, правильна відповідь  $\vec{M}_{\text{ін}}$  відрізняється від очевидної  $\vec{M}_{\text{ін}}^*$ . Щобільше, навіть якщо центр ваги лежить у площині  $XOZ$  ( $y_c = 0$ ), момент сил, який намагається повернути тіло в площині  $YOZ$ , може відрізнитися від нуля. У випадку руху велосипеда цей момент компенсується різницею сил реакції опори, які діють на переднє і заднє колесо.

Отже, не можна вважати, що відцентрова сила інерції прикладена до центра мас (ваги) тіла. Відносно центра ваги сума моментів дорівнюватиме нулеві, якщо рівнодіюча сили тертя і нормальної реакції опори не проходить через центр ваги тіла. Так само і відносно осі, проведеної через точки дотику дороги і коліс велосипеда, сума моментів дорівнюватиме нулеві, якщо рівнодіюча відцентрової сили інерції і сили тяжіння не проходить через цю вісь. Повернімося до книги „Фізика для всіх” та ідеї вертикального положення велосипеда у неінерціальній системі відліку і зазначимо, що



на різні точки системи, які мають однакову масу але рухаються колами різного радіуса, діють однакові сили тяжіння, але різні відцентрові сили. Отже, і напрямок вертикалі для цих точок буде різний.

Що ж робити, якщо на іспиті отримав задачу про нахил мотоцикліста? Треба сказати, щось на зразок: „Вважаємо розміри мотоцикліста малими порівняно з радіусом кола”. Тоді, по-перше, зникає потреба пояснювати, радіус якого саме кола ви маєте на увазі і, по-друге, різниця відцентрових сил, які діють на різні точки системи, виявиться малою порівняно із самою відцентровою силою, отже, напрямок вертикалі для усіх точок системи буде однаковий. Можна спробувати ще більше спростити: „Оскільки розміри мотоцикліста малі порівняно з радіусом кола, вважаємо, що загальна маса сконцентрована у центрі мас системи”, після чого навести стандартний розв’язок задачі. Звичайно, не треба казати „очевидно”, адже може з’ясуватися, що екзаменатор знайомий з цією проблемою не гірше, ніж Ви.

Наведемо розрахунки для досить грубої моделі, у якій замість велосипедиста розглядається однорідний стрижень завдовжки  $2l$ , нижня точка якого

рухається вздовж горизонтального кола радіусом  $R$ . Стрижень рухається зі сталою кутовою швидкістю  $\omega$  і утворює кут  $\alpha$  з вертикаллю.

Якщо вважати, що відцентрова сила інерції прикладена до центра ваги стрижня, маємо одне рівняння для визначення кута  $\alpha$  :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2}{g} (R - l \sin \alpha).$$

У дужках стоїть відстань від осі кола до центра ваги стрижня. Якщо провести розрахунки строго і без вигідних припущень матимемо дещо інше рівняння:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2}{g} \left( R - \frac{4}{3} l \sin \alpha \right),$$

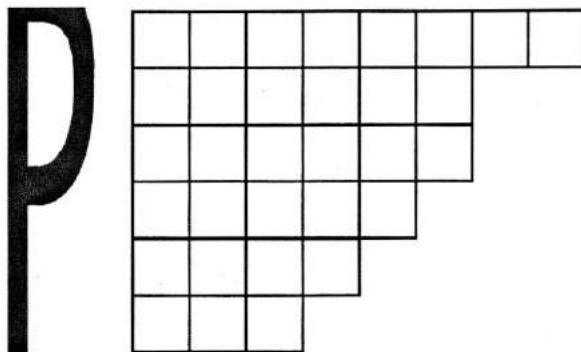
яке і є правильне.

Якщо ж радіус кола значно більший від розмірів тіла, обидва рівняння наближено дають однакову відповідь:

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \frac{\omega^2 R}{g}.$$

Зрозуміло, якщо радіус кола і довжина стрижня мають близькі значення, відповіді суттєво відрізняться.

У незаповнені клітинки впишіть прізвища вчених, які розпочинаються літерою **Р**.



1. Англійський фізик, лауреат Нобелівської премії, який встановив природу альфа- і бета-променів.
2. Відомий німецький фізик, лауреат Нобелівської премії, який відкрив X-промені.
3. Учений, який звернув увагу на виділення теплоти гарматних жерл 1798 року.
4. Російський учений, який разом з Ломоносовим встановив явище відштовхування однойменних зарядів.
5. Англійський фізик, лауреат Нобелівської премії, спеціаліст з лінійних коливань.
6. Німецький фізик, який сформулював комбінаційний принцип передбачення наступних спектральних ліній елемента за відомими.

# Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2001 р.

(Розв'язки задач 10 та 11-го класів Всеукраїнської олімпіади з фізики.  
Умови задач дивіться в журналі „Світ фізики”. 2001. № 2 (14))

### 10-й клас

#### Задача 1.

Ключ у положенні А.

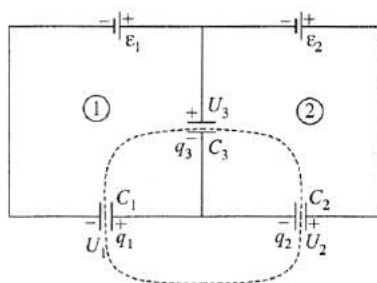


Рис. 1.

Полярність конденсаторів  $C_1, C_2$  виберімо з розумних міркувань, а конденсатора  $C_3$  – довільно. Ділянка кола, що обведена пунктиром ізолювана (див. рис. 1):

$$q_1 = q_2 + q_3. \quad (1)$$

Для контурів 1 і 2 маємо:

$$\varepsilon_1 = U_1 + U_3; \quad (2)$$

$$\varepsilon_2 + U_3 = U_2. \quad (3)$$

Враховуючи, що:

$$q_1 = C_1 U_1; \quad q_2 = C_2 U_2; \quad q_3 = C_3 U_3. \quad (4)$$

Розв'язавши систему рівнянь (1) – (4), отримаємо:

$$U_1 = \frac{C_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + C_3 \varepsilon_1}{C_1 + C_2 + C_3}. \quad (5)$$

Ключ у положенні В.

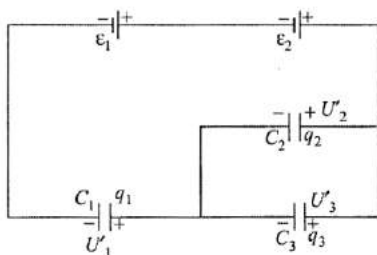


Рис. 2.

$$q_1 = q_2 + q_3, \quad (6)$$

$$U_2 = U'_3, \quad (7)$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = U'_1 + U'_2, \quad (8)$$

$$q_1 = C_1 U'_1; \quad q_2 = C_2 U'_2; \quad q_3 = C_3 U'_3. \quad (9)$$

Розв'язавши систему рівнянь (6) – (9), отримаємо:

$$U'_1 = \frac{C_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + C_3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{C_1 + C_2 + C_3}. \quad (10)$$

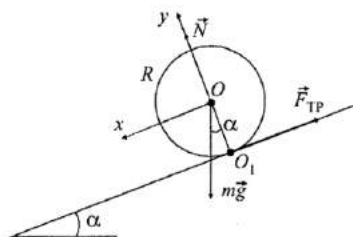
За умовою  $U_1 = U'_1$ , з (5) та (10) випливає:

$$\frac{C_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + C_3 \varepsilon_1}{C_1 + C_2 + C_3} = \frac{C_2(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + C_3(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

Звідси випливає, що  $\varepsilon_2 = 0$  – за цієї умови напруга на  $C_1$  зберігається.

#### Задача 2.

А. Час скорочування куль однаковий, це означає, що лінійне прискорення центрів куль однакові. Визначимо прискорення довільної кулі.



Для поступального руху центра кулі маємо:

$$OY: \quad N = mg \cos \alpha \quad (1)$$

$$OX: \quad ma = mg \sin \alpha - F_{\text{тр}} \quad (2)$$



Для обертового руху відносно осі  $O_1$  маємо:

$$\beta_1 I_{01} = mgR \sin \alpha, \quad (3)$$

де  $R \sin \alpha$  – плече сили  $mg$  відносно осі  $O_1$ ,  $\beta_1$  – кутове прискорення кулі відносно осі  $O_1$ ,

$$I_{01} = \frac{2}{5} mR^2 + mR^2 \quad (4)$$

– момент інерції кулі відносно осі  $O_1$  (застосована теорема Штайнера).

Кутове ( $\beta_1$ ) і лінійне ( $a$ ) прискорення центра кулі за відсутності проковзування кулі пов'язані між собою:

$$a = \beta_1 R. \quad (5)$$

Із рівнянь (3), (4) і (5) отримаємо:

$$a_{\text{кулі}} = \frac{5g \sin \alpha}{7}. \quad (6)$$

Лінійні прискорення різних куль однакові, оскільки  $a_{\text{кулі}}$  не залежить від маси і радіуса кулі, а залежить тільки від  $\bar{g}$  і кута нахилу площини  $\alpha$ .

В. Визначимо прискорення циліндра (рисунок сил аналогічний до кулі)

$$\beta_2 I_{01} = mgR \sin \alpha, \quad (7)$$

$$I_{01} = \frac{1}{2} mR^2 + mR^2 \quad (8)$$

– момент інерції циліндра відносно осі  $O_1$ .

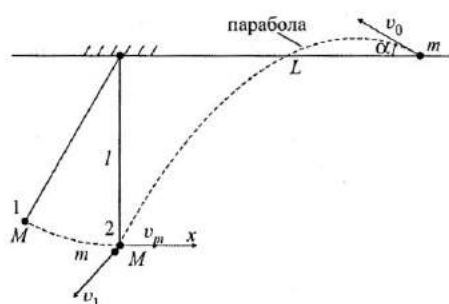
$$a_2 = \beta_2 R. \quad (9)$$

Із рівнянь (7), (8) і (9) отримаємо:

$$a_{\text{циліндр}} = \frac{2}{3} g \sin \alpha. \quad (10)$$

Із (6) і (10) випливає, що прискорення куль і циліндрів різні.

### Задача 3.



Нехай маятник  $M$  рухається з точки 1, тоді в точці 2 він буде через час

$$t = \frac{T}{4} n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot n, \quad (1)$$

де  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  – період коливань маятника,  $n = 1, 5, 9, \dots$  – ціле число. Швидкість маятника в положенні рівноваги (точка 2) дорівнює:

$$v = \omega A = A \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (2)$$

При абсолютно непружному ударі в точці 2 зовнішні сили по  $OX$  відсутні. Запишемо закон збереження імпульсу по  $OX$ :

$$Mv_m - mv_0 \cos \alpha = 0 \quad (3)$$

– після удару рух по  $OX$  відсутній,  $|v_{1x}| = v_0 \cos \alpha$  (рух кульки  $m$  по  $OX$  – рівномірний).

З умови, що кулька  $m$  потрапляє в точку 2 маємо:

$$L = v_0 \cos \alpha \cdot t, \quad (4)$$

$$l = -v_0 \sin \alpha + \frac{gt^2}{2}. \quad (5)$$

Із рівнянь (1)–(4) отримаємо умову потрапляння кульки  $m$  у маятник  $M$ :

$$t = \frac{mL}{Mv_m} = \frac{mL}{MA} \sqrt{\frac{l}{g}} \stackrel{(1)}{=} \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot n.$$

Звідси випливає

$$\frac{\pi n}{2} = \frac{mL}{MA}. \quad (6)$$

З (4) і (5) маємо:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{gt^2/2 - l}{L} \stackrel{(1)}{=} \frac{l}{L} \left( \frac{\pi^2 n^2}{8} - 1 \right) \stackrel{(6)}{=} \\ &= \frac{l}{L} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{mL}{MA} \right)^2 - 1 \right) \end{aligned} \quad (7)$$

– кут кидання кульки  $m$  за умови (6).

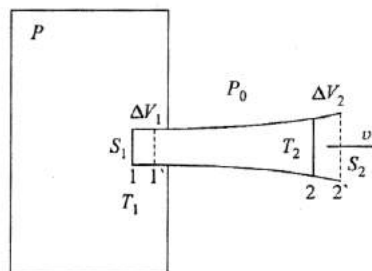
З (4) і (5) маємо:

$$v_0^2 t^2 = L^2 + \left( \frac{\pi^2 n^2}{8} - 1 \right) l^2.$$

Звідси (врахувавши (1) і (6)), отримаємо:

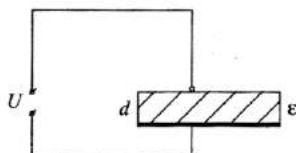
$$v_0 = \sqrt{\frac{M^2 A^2 g}{m^2 L} \left( 1 + \frac{l^2}{L^2} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{mL}{MA} \right)^2 - 1 \right)^2 \right)} =$$

$$= \sqrt{gl \left( \left( \frac{MA}{ml} \right)^2 + \left( \frac{MA}{mL} \right)^2 - 1 + \left( \frac{mL}{2MA} \right)^2 \right)}$$



**Задача 4.**

Крапля ртуті маленька, це означає, що до розпливання краплини її поверхнева енергія мала ( $U_1 = 0$ ) і електрична енергія мала ( $C_1 = 0, W_1 = 0$ ).



Нехай при напрузі  $U$  краплина розплилась і утворила плівку площею  $S$ . Поверхнева енергія плівки дорівнює

$$U_2 = \sigma 2S. \quad (1)$$

Енергія зарядженого конденсатора дорівнює:

$$W_2 = \frac{C_2 U^2}{2} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S U^2}{2d}. \quad (2)$$

Через джерело пройшов заряд

$$\Delta q = CU = \frac{\epsilon \epsilon_0 S U}{d}. \quad (3)$$

Запишімо закон збереження енергії:

$$A_{дж} = \Delta U + \Delta W = U_2 + W_2.$$

Звідси

$$\Delta q \cdot U = U_2 + W_2.$$

Підставмо в це рівняння (1), (2) і (3) і отримаємо:

$$U = \sqrt{\frac{4\sigma d}{\epsilon \epsilon_0}}$$

**Задача 5.**

Коефіцієнт корисної дії реактивного двигуна визначають, як відношення кінетичної енергії струменя газу ( $K$ ) до кількості теплоти отриманої газом ( $Q_1$ ):

$$\eta = \frac{K}{Q_1}. \quad (1)$$

Оскільки газ отримує енергію у камері згорання, можна вважати, що процес відбувається при сталому тискуві.

$$Q_1 = c_{pm} v T_1, \quad (2)$$

$c_{pm}$  – молярна теплоємність присталому тискуві. Для визначення кінетичної енергії струменя розглянемо витікання газу з сопла двигуна.

Вважаймо процес витікання ламінарним (постійний у часі) і розглянемо трубку течії (див. рис.) обмежену двома перерізами (1 і 2) і бічними стінками (трубка довільних розмірів). На газ обмежений цією трубкою діють сили тиску на переріз 1 ( $F_1 = PS_1$ ), на переріз 2 ( $F_2 = P_0 S$ ) і сили  $F_6$  на бічну стінку (ця сила роботи над газом не виконує). Дія цих сил на газ упродовж невеликого інтервалу часу приводить до зміни положення і енергії газу (нове положення перерізи 1" і 2"). Робота зовнішніх сил над газом дорівнює зміні енергії газу:

$$A = \Delta U + \Delta K. \quad (3)$$

Зміни, що відбулися з газом найпростіше розглядати як переміщення об'єму  $\Delta V_1$  в об'єм  $\Delta V_2$  (в інших ділянках змін немає).

Робота над газом:

$$A = PS_1 l_1 - P_0 S_2 l_2 = P \Delta V_1 - P_0 \Delta V_2 \quad (4)$$

Для об'ємів  $\Delta V_1$  і  $\Delta V_2$  маємо:

$$P \Delta V_1 = \nu R T_1; \quad (5)$$

$$P_0 \Delta V_2 = \nu R T_2 \quad (6)$$

Підставмо (5) і (6) в (4):

$$A = \nu R (T_1 - T_2) \quad (7)$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad (8)$$

– зміна внутрішньої енергії газу,

$$\Delta K = K = \frac{mv^2}{2} \quad (9)$$

– зміна кінетичної енергії газу.

Рівняння (7), (8) і (9) підставмо у (3):

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2},$$

звідси випливає:

$$K = \frac{mv^2}{2} = \left(\frac{i}{2} + 1\right) \nu R(T_1 - T_2) = C_{p\mu} \nu (T_1 - T_2) \quad (10)$$

(10) і (2) підставмо в (1):

$$\eta = \frac{C_{p\mu} \nu (T_1 - T_2)}{C_{p\mu} \nu T_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (11)$$

Вираз для коефіцієнта корисної дії цього реактивного двигуна збігається з виразом для коефіцієнта корисної дії ідеального теплового двигуна, що працює за циклом Карно.

Для визначення  $T_2$  скористаймося рівнянням адіабати (за умовою процес адіабатичний)

$$PV^\gamma = \text{const},$$

враховуючи, що

$$V = \frac{T \cdot \text{const}}{P},$$

отримаємо:

$$P^{1-\gamma} \cdot T^\gamma = \text{const} \Rightarrow P^{(1-\gamma)/\gamma} \cdot T = \text{const} \quad (12)$$

Скористаймося рівнянням (12):

$$P_0^{(1-\gamma)/\gamma} \cdot T_1 = P_0^{(1-\gamma)/\gamma} \cdot T_2 \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{P}{P_0}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \quad (13)$$

(13) підставмо в (11):

$$\eta = 1 - \left(\frac{P_0}{P}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} = 0,6 = 60\%$$

Швидкість газу визначимо з (1)

$$\eta = \frac{mv^2/2}{Q_1} = \frac{mv^2/2}{Qm} \Rightarrow v^2 = \sqrt{2\eta Q} = 4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

$Q$  – теплота, що виділяється при згорянні 1 кг палива.

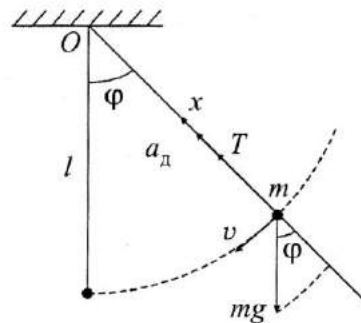
11-й клас

Задача 1.

Дивіться задачу 2 за 10-й клас.

Задача 2.

А. Коливання малі;  $\alpha = \sin \alpha = \text{tg } \alpha$ ,  $\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2}$ .



Запишімо другий закон Ньютона для вісі  $Ox$ :

$$ma_d = T - mg \cos \varphi.$$

Звідси випливає, що

$$T = \frac{mv^2}{l} + mg \left(1 - \frac{\varphi^2}{2}\right) \quad (1)$$

Маятник здійснює обертання навколо осі  $O$ :

$$I\beta = -M = -mgl \sin \varphi = -mgl\varphi$$

Звідси

$$\beta = \varphi'' = -\frac{g}{l}\varphi$$

Маятник здійснює гармонічні коливання

$$\varphi = \varphi_0 \cos \omega t \quad (2)$$

$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$  – циклічна частота коливань.

Для визначення швидкості маятника ( $v$ ) визначимо кутову швидкість ( $\omega_k$ ) маятника

$$\omega_k = \varphi' = -\varphi_0 \omega \sin \omega t, \quad (3)$$

тоді:

$$v = \omega_k l = -\varphi_0 \omega l \sin \omega t \quad (4)$$

Підставмо (4) у (1) і враховуючи, що

$$\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}, \text{ отримаємо:}$$

$$T = mg \left(1 + \frac{\varphi_0^2}{4} - \frac{3}{4} \varphi_0^2 \cos 2\omega t\right). \quad (5)$$

В.



Збільшення довжини маятника  $\Delta l > 0$  означає рух маятника від точки підвісу, тобто проти сили  $T$  (у цей момент робота над маятником від'ємна). Визначимо зміну довжини маятника за дуже малий інтервал часу  $dt$  (для інтервалу часу  $dt$  кутове положення маятника і силу його натягу  $T$  можна вважати постійними).

$$dl = (\Delta l)' = -a2\omega \cos 2\omega t dt. \quad (6)$$

Тоді робота над маятником за час  $dt$  дорівнює:

$$dA = T(-dl) = 2a\omega T \cos 2\omega t dt. \quad (7)$$

Робота над маятником за період ( $T_0 = \frac{2\pi}{\omega}$ ) дорівнює:

$$\begin{aligned} A_{T_0} &= \int_0^{T_0} dA = \\ &= \int_0^{T_0} 2a\omega \cos 2\omega t \cdot mg \left( 1 + \frac{\varphi_0^2}{4} - \frac{3}{4}\varphi_0^2 \cos 2\omega t \right) dt = \\ &= -\frac{3}{4}\varphi_0^2 \cdot 2\pi a \cdot mg \end{aligned} \quad (8)$$

– енергія маятника зменшується.

Тоді середня потужність передана маятникові за період:

$$\langle P \rangle = \frac{A_{T_0}}{T_0} = -mga\omega \frac{3}{4}\varphi_0^2 \quad (9)$$

Для визначення закону зміни енергії маятника вважаймо, що робота за період  $A_{T_0} \ll E$  енергії маятника, тобто зміни енергії за період вважаймо нескінченно малими, тоді:

$$\frac{dE}{dt} = \langle P \rangle = -\frac{3}{4}\varphi_0^2 mga\omega. \quad (10)$$

Повна енергія маятника ( $E$ ) дорівнює максимальному значенню кінетичної енергії маятника:

$$E = \frac{mv_m^2}{2} = \frac{m\omega_{k \max}^2 \cdot l^2}{2} = \frac{m\varphi_0^2 \omega^2 l^2}{2} = \frac{mgl\varphi_0^2}{2}. \quad (11)$$

Враховуючи (11) рівняння (10), запишімо так:

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{E}{\frac{2l}{3a\omega}} = -\frac{E}{\alpha}, \quad (12)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{2l}{3a\omega}.$$

Проінтегруймо рівняння (12):

$$\int \frac{dE}{E} = -\int \frac{dt}{\alpha} \Rightarrow \ln E = -\frac{t}{\alpha} + \ln C$$

Константу інтегрування визначимо з початкових умов. При  $t = 0$ ,  $C = E_0$ , де  $E_0$  – початкова енергія маятника, тоді:

$$\ln \frac{E}{E_0} = -\frac{t}{\alpha},$$

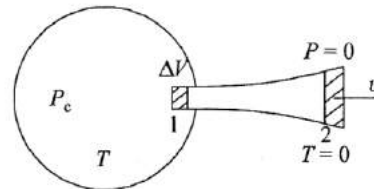
потенціюймо цей вираз:

$$E = E_0 e^{-\frac{t}{\alpha}},$$

$\alpha = \frac{2l}{3a\omega}$  – енергія зменшується експоненціально.

### Задача 3.

Для оцінки вважатимемо, що витікання газу відбувається при сталому тискові  $P_c = (P_1 + P_2)/2$  і сталій температурі в станції. Визначимо швидкість витікання газу (вважаючи процес адіабатним, а течію ламінарною) способом, що описаний у задачі 5 за 10 клас.



$$A = \Delta U + \Delta K. \quad (1)$$

Врахуємо, що за межами станції тиск газу дорівнює нулеві, відповідно і температура газу нульова. Тоді:

$$A = P_c \Delta V = \nu RT, \quad (2)$$

$$\Delta K = K = \frac{mv^2}{2}, \quad (3)$$

$$\Delta U = -U_1 = -\frac{i}{2}\nu RT. \quad (4)$$

(2), (3) і (4) підставмо в (1):

$$\frac{mv^2}{2} = \nu RT + \frac{i}{2}\nu RT = C_{P\mu} \nu T \Rightarrow$$



$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2C_{P\mu} \cdot T}{\mu}} = \sqrt{\frac{7kT}{m_0}} \quad (5)$$

(враховано:  $C_{P\mu} = 7R/2$ ,  $R = kN_A$ ,  $\mu = m_0 N_A$ ).  
Маса газу  $\Delta m$ , що вийшла зі станції за час  $t$ , дорівнює:

$$\Delta m = \rho S v t \Rightarrow S = \frac{\Delta m}{\rho v t} \quad (6)$$

Масу газу, яка вийшла зі станції, визначимо з рівнянь стану газу:

$$\Delta m = \frac{P_1 V \mu}{RT} - \frac{P_2 V \mu}{RT} = \frac{V \mu}{RT} (P_1 - P_2) \quad (7)$$

(7) підставмо в (6):

$$S = \frac{V \mu (P_1 - P_2)}{RT \cdot \rho v t} \quad (8)$$

Середня густина газу  $\rho = P_c \mu / RT$ , тоді

$$S = \frac{V(P_1 - P_2)}{P_c v t} = \frac{2V(P_1 - P_2)}{(P_1 + P_2) v t} = \frac{2V(P_1 - P_2)}{(P_1 + P_2) t} \sqrt{\frac{m_0}{7kT}} = 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (9)$$

Здається, задачу можна зробити точніше, якщо рівняння (6) записати

$$dm = -\rho S v dt \quad (10)$$

а рівняння (7) так:

$$dm = \frac{\mu V}{RT} dP \quad (11)$$

Тоді, враховуючи, що  $\rho = P \mu / RT$ , маємо:

$$\frac{\mu V dP}{RT} = -\frac{P \mu}{RT} S v dt \Rightarrow \frac{dP}{P} = -\frac{S v dt}{V}$$

Проінтегрувавши цей вираз, отримуємо:

$$S = \frac{V}{v t} \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (12)$$

Але вираз (12) при підрахунку дає такий самий результат, що і вираз (9) з точністю до третього знаку, що для оцінки не потрібно.

Швидкість витікання газу з отвору можна визначити, користуючись рівнянням Бернуллі, яке для одиниці маси газу дає вигляд:

$$\Xi + \frac{P}{\rho} = \text{const} \quad (13)$$

де  $\Xi = \frac{U + K + \Pi}{m}$  – повна енергія (сума внутрішньої, кінетичної і потенціальної енергії газу) одиниці маси газу. Для перерізів 1 і 2 (див. рис.) маємо:

$$\frac{U_1}{m} + \frac{P}{\rho} = \frac{v^2}{2} \quad (14)$$

В обох перерізах відсутні члени потенціальної енергії газу в зовнішніх силових полях: в перерізі 1 відсутній член  $v_1^2/2$  (швидкість газу мала). В

перерізі 2 відсутні члени  $\frac{U_2}{m} + \frac{P_2}{\rho}$ , оскільки тиск і температура газу за бортом станції дорівнюють нулеві.

$$\frac{U_1}{m} = \frac{i}{2m} v R T = \frac{i R T}{2\mu} \quad (15)$$

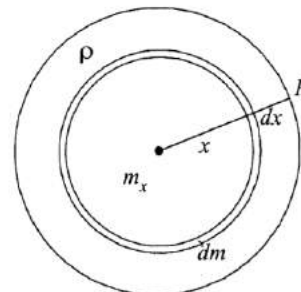
$$\frac{P}{\rho} = \frac{R T}{\mu} \quad (16)$$

(15) і (16)  $\Rightarrow$  (14):

$$v = \sqrt{\frac{2C_{P\mu} \cdot T}{\mu}} = \sqrt{\frac{7kT}{m_0}}, \text{ що співпадає з виразом (5).}$$

До речі, у розв'язку журі олімпіади, запропонованому учням, рівняння Бернуллі застосовано неправильно.

#### Задача 4.



А.  
Густина кулі

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3} \quad (1)$$

Для зручності будемо видаляти речовину на нескінченність послідовно нескінченно тонкими шарами, починаючи з поверхні. Тоді робота з видалення цього шару дорівнює його потенціальній енергії у гравітаційному полі внутрішньої частини кулі (теорема про потенціальну енергію).

$$dA = dE = -\gamma \frac{m_x dm}{x} = -\gamma \frac{\frac{4}{3}\pi x^3 \rho \cdot 4\pi x^2 dx}{x} = -\gamma \frac{16\pi^2 \rho^2 x^4 dx}{3},$$

тоді

$$A = E = \int_0^R -\gamma \frac{16}{3} \pi^2 \rho^2 x^4 dx = -\gamma \frac{16\pi^2 \rho^2 R^5}{15} = -\frac{3}{5} \gamma \frac{M^2}{R}. \quad (2)$$

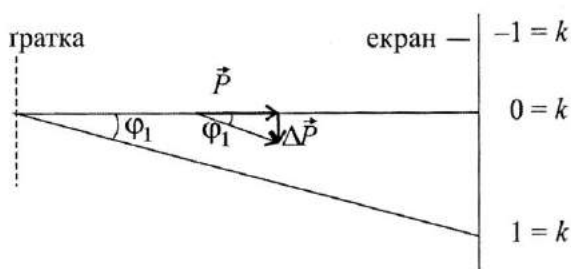
Знак мінус означає, що ми маємо справу з енергією притягання.

Б.

Прирівняймо гравітаційну енергію й енергію спокою кулі:

$$\frac{3}{5} \gamma \frac{M^2}{R} = MC^2 \Rightarrow R = \frac{3\gamma M}{5C^2} \approx 3 \text{ мм.}$$

### Задача 5.



А.

$\alpha = 0, 1$  – частка електронів, що потрапляє у перші максимуми.

Сила, яка діє на край щілини, дорівнює силі, що діє на електрони, які, пролітаючи крізь щілину (завдовжки  $l$ ) за час  $\Delta t$ , відхиляються на один перший максимум.

$$F \Delta t = \Delta p \Rightarrow F = \frac{\Delta p}{\Delta t}. \quad (1)$$

Зміну імпульсу електронів знайдемо з трикутника імпульсів:

$$\Delta p = p \cdot \text{tg} \varphi_1 \approx p \cdot \varphi_1 = N \cdot mv \varphi_1 = n \cdot b \cdot l \cdot v \Delta t \frac{\alpha}{2} \cdot mv \varphi_1. \quad (2)$$

Кут відхилення електронів на перший максимум ( $k=1$ ) знайдемо з формули дифракційної ґратки

$$d \sin \varphi_1 = d \varphi_1 = \lambda. \quad (3)$$

Довжину хвилі електронів визначимо за формулою де Бройля:

$$\lambda = h/mv. \quad (4)$$

Враховуючи (1)–(4), отримаймо:

$$F = \left( \frac{\alpha}{2} \right) \frac{nvblh}{d} \Rightarrow F_0 = \frac{F}{l} = \frac{\alpha n v b h}{2d}. \quad (5)$$

Б.

Сила, що діє на екран за відсутності дифракції:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{Nmv}{\Delta t} = \frac{nS_0 v \Delta t \cdot mv}{\Delta t} = nmv^2 S_0,$$

тоді тиск на екран:

$$P_1 = \frac{nmv^2 S_0}{S_{\text{екр}}}, \quad (6)$$

де  $S_0$  – площа обох щілин,  $S_{\text{екр}}$  – площа екрану. Якщо є дифракція, то сила, що діє на екран, дорівнює:

$$F_2 = \frac{\Delta p_0}{\Delta t} + \frac{\Delta p_1}{\Delta t} = (1-\alpha)nS_0mv^2 + \alpha nS_0mv^2 \cos \varphi_1 = nS_0mv^2 \left( (1-\alpha) + \alpha \left( 1 - \frac{\varphi_1^2}{2} \right) \right) = nS_0mv^2 \left( 1 - \frac{\alpha \varphi_1^2}{2} \right).$$

Тиск на екран:

$$P_2 = nmv^2 \left( 1 - \frac{\alpha \varphi_1^2}{2} \right) \frac{S_0}{S_{\text{екр}}}. \quad (7)$$

Зміна тиску на екран:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{nmv^2 \alpha \varphi_1^2 S_0}{2S_{\text{екр}}} \stackrel{(4)}{=} \frac{\alpha n h^2 S_0}{2md^2 S_{\text{екр}}}.$$

Розв'язки підготував  
Володимир АЛЕКСЕЙЧУК



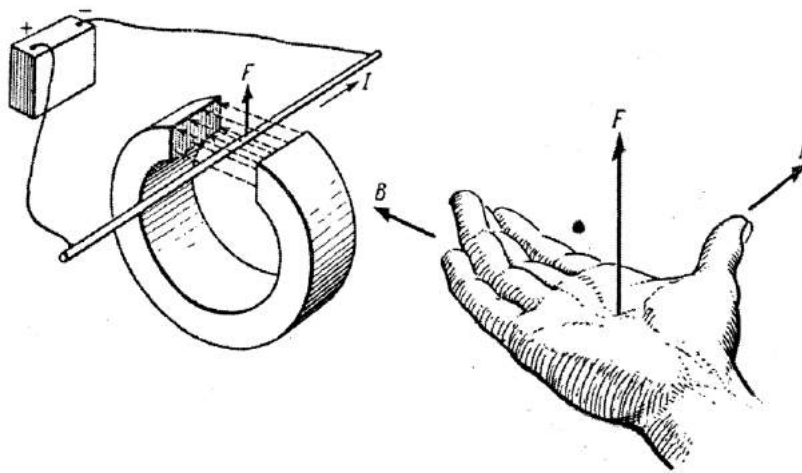
# Цей загадковий світ слабких електромагнетних полів

За останнє сторіччя у життя людини увійшла велика кількість різноманітних електромагнетних пристроїв, які створюють штучні електромагнетні поля (ЕМП). Сьогодні ці поля присутні майже скрізь: у побуті, на виробництві, транспорті, під час роботи, відпочинку і навіть під час сну. Людина постійно піддається їх впливові. Відомо, що завжди існували природні поля і в процесі еволюції сформувались механізми використання їхньої енергії для потреб живої системи (фотосинтез, зорове відчуття, орієнтація у просторі за допомогою геомагнетного поля).

Чи впливають штучні поля на здоров'я людини? Зрозуміло, що йонізуюче опромінення, великі інтенсивності світлового та радіодіапазонів мають негативну дію. Але малі дозим'якого ультрафіолетового опромінення стимулюють обмін речовин, який потрібний для синтезу вітаміну D, вбивають бактерії та грибки на шкірі. Багато видів ЕМП, різних за частотою та режимом застосування, успішно використовуються у фізіотерапії. Проте більшість ЕМП значно слабші від зазначених, і їхня частота не перевищує 100 Гц. З ними люди контактують майже постійно й не звертають на це уваги. І це можна зрозуміти, адже енергія таких впливів на 5–7 порядків менша за енергію теплового руху молекул, тому про жодну йонізацію чи тепловий ефект не може бути мови. Незважаючи на це, з'ясувалося, що слабкі ЕМП відпові-

дальні за низку біологічних феноменів і мають інформаційну функцію. Наприклад, деякі види бактерій, одноклітинних водоростей орієнтуються у магнетному полі Землі й рухаються відповідно до його напрямку, що має деяке значення для їхнього виживання. Складніше використовують геомагнетне поле мігруючі риби, бджоли та перелітні птахи. Доведено, що риби змінюють напрямки руху в басейні відповідно до штучної зміни зовнішнього магнетного поля в умовах експерименту. Подібно орієнтуються і птахи, які з неймовірною точністю здійснюють перельоти на тисячі кілометрів, використовуючи лише так звану магнетну карту Землі. Інформаційну функцію виконують також слабкі ЕМП всередині багатоклітинних організмів. Потенціали клітин, субклітинних структур мають певну періодичність і кожна зміна функціонального стану неодмінно супроводжується місцевими флуктуаціями поля. Але як може слабке ЕМП викликати помітний ефект у живих системах? Звичайні для сильних полів ефекти, як наприклад, прискорення заряджених йонів, заряджених білкових глобул чи індукування всередині організму електричних зарядів, дипольних моментів, тут не мають місця, бо енергії поля недостатньо, щоб зумовити їх. Важливою особливістю дій ЕМП на біооб'єкти є частотна залежність ефектів, тобто при їхній дії зміна реєстрованого параметра виявляється лише у вузьких інтер-

валах частот. Частотна залежність ефекту нагадує за формою резонансу, тому говорять про резонансні чи квазірезонансні ефекти. У живих системах виявлені численні майже періодичні процеси, які відіграють важливу роль в утворенні, підтриманні стабільності, розвитку та й функціонуванні всього живого. Залежно від рівня організації біологічного об'єкта частота сильно змінюється. Наприклад, на рівні клітини та субклітинних структур вона





становить від 0.1 до 100 Гц, поступово спадаючи, і на рівні цілого організму досягає 1–10 коливань на добу. Якщо частоти коливальних процесів збігаються з частотами зовнішнього впливу можна сподіватись максимальної зміни функціональної активності біологічної системи.

Найпривабливішим об'єктом для резонансу вважаються іони  $\text{Ca}^{2+}$ , оскільки регуляція багатьох біохімічних процесів всередині клітини здійснюється за їх допомогою. Припускають, що слабкі ЕМП можуть впливати на  $\text{Ca}^{2+}$ -залежні системи внутрішньоклітинної сигналізації шляхом зміни концентрації йонів кальцію. За відповідних параметрів впливу та достатньої тривалості слабкої зовнішньої дії можна сподіватися „захоплення” системою частоти деякого сигналу і формування на цій основі відповідної часової організації її підсистеми. Найвиразніше такі ефекти спостерігалися під час дії на нервову систему. Іншим запропонованим у літературі механізмом впливу є зміна метаболічної активності клітинних структур завдяки зміні впорядкованості, структуризації гідратних оболонок йонів, низько- та високомолекулярних білків, що змінює їхню здатність до взаємодії.

Останнім часом розглядається можливий вплив ЕМП на вільно радикальні (ВР) реакції, спінові переходи, механізми тунельного переносу, активацію ділянок надпровідності у мембранах.

Однак зазначимо, що одні й ті ж параметри поля можуть мати позитивний, негативний, або не мати жодного впливу. Це залежить від того чи ці параметри поля біотропні і в якому функціональному стані перебуває біосистема. На понятті функціонального стану, вважаємо, слід зупинитися дещо детальніше. Кожна жива істота – нерівноважна відкрита самоорганізуюча і саморегулююча система, впорядкованість якої підтримується відпливом ентропії у навколишнє середовище і яка здатна реорганізуватися і революціонізувати під дією зовнішніх збурень. У клітині, найменшій морфологічній та функціональній одиниці живого, одночасно відбуваються тисячі біохімічних реакцій, які спрямовані на підтримання оптимального рівня процесів розпаду та синтезу. Сотні ферментів (біологічних каталізаторів) забезпечують високу спряженість та контрольованість хімічних перетворень. Проте деякі високоактивні метаболіти, такі як  $\text{O}_2$  і продукти його перетворення, різні вільні

радикали здатні вступати в реакції, які важко піддаються контролю і часто можуть мати деструктивний характер. Як з'ясувалося, саме ВР реакції відіграють роль первинного і вторинного медіаторів стресу, стимуляторів адаптативних відповідей. Помірна активація ВР реакцій пероксидного окислення ліпідів зумовлює активацію репаративних, анаболічних, енергетичних та антиоксидантних процесів, що сприяє формуванню суперкомпенсаторних змін, переведенню біосистеми на новий метаболічний рівень. Такі процеси в організмі відбуваються постійно і завдяки їм забезпечується висока метаболічна активність органів та систем. Саме якісні та кількісні параметри інтенсивності метаболічних процесів і визначають функціональний стан системи.

Отже, незважаючи на те, що точні фізико-хімічні механізми впливу ЕМП на живу систему ще не з'ясовані, очевидним є лише те, що їхній вплив реалізується на рівні активно функціональної одиниці, і якщо не безпосередньо, то принаймні опосередковано змінює метаболічну ситуацію у той чи інший бік. Сьогодні вже розроблено низку критеріїв оцінки метаболічного статусу організму, які дають змогу визначити параметри як вихідного функціонального стану, так і його корекції. До них належать поряд з інтегральними показниками кисневого гомеостазу (газовий склад крові, рН, сатурація  $\text{O}_2$  тощо) показники пероксидного окислення ліпідів та антиоксидантної системи.

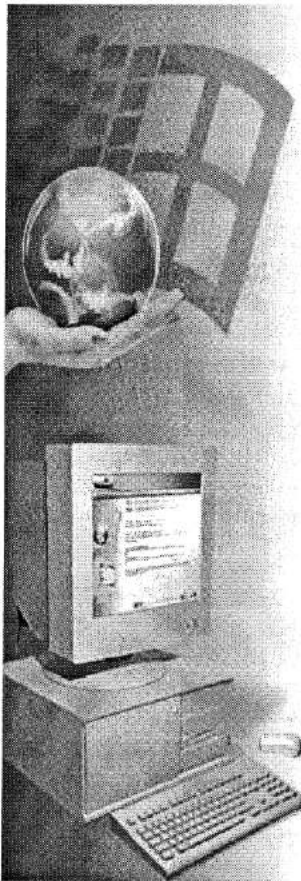
Вже давно використовуються електромагнетні пристрої для емпіричного лікування деяких хвороб, удосконалюються методики їх застосування. І вже не виглядають фантастичними ідеї обґрунтованого застосування слабких ЕМП в онкології, ендокринології, терапії, хірургії, травматології і навіть реаніматології для прямої корекції метаболічного статусу.

Незважаючи на складність та неоднозначність питання про вплив слабких ЕМП на живі істоти, щоразу з'являються нові дані, які наближають нас до розуміння та правильного трактування цього феномену.

**Андрій Черкас, Данило Камінський,  
Андрій Куркевич, Ольга Єліссєва,**  
*студенти Львівського державного медичного  
університету імені Данила Галицького*



## Таємниця Тунгуського метеорита



Італійські учені твердять, що їм вдалось розкрити таємницю Тунгуського метеорита – загадкового потужного вибуху, що трапився 30 червня 1908 року поблизу річки Підкамінна Тунгуска (Сибір). Люди, які бачили вибух, на деякий час осліпли – настільки яскравим був спалах. На тисячах квадратних кілометрів були повалені сотні тисяч дерев. Спалах зумовив пожежу, яка знищила тисячі дерев поблизу епіцентру. Атмосферна ударна хвиля, зумовлена цим вибухом, двічі обійшла землю. І навіть через дві доби в атмосфері Землі було стільки дрібного пилу, що в Лондоні вночі можна було читати газети (на відстані 10 000 км від епіцентру вибуху).

Феномен Тунгуського метеориту породив чимало версій – від ядерного вибуху до самознищення космічного корабля інопланетної цивілізації. І нині, майже через 100 років, учені шукають відповіді, що ж відбулось насправді. Була це комета? Астероїд? Мініатюрна чорна діра?

Учені й раніше розробляли кометну або астероїдну версію, однак їй перечив той факт, що на місці події не залишилось ані кратера, ані навіть ями. Крім того, жодній із багатьох експедицій не вдалось знайти більшої кількості важливих фрагментів, які повинні були зберегтись, якби Земля зіткнулась з яким-небудь космічним тілом.

І ось тепер італійські вчені вважають, що їм вдалось знайти відповідь на цю проблему. Вони стверджують, що детально проаналізували літературні джерела, навіть ті, що раніше не публікувались і врахували орбіту космічного тіла. Цей об'єкт, на їхню думку, прилетів до Тунгуски з південного сходу зі швидкістю майже 11 км/с. Зваживши на це, дослідники розрахували ймовірні траєкторії цього тіла. Їх виявилось – вірогідних – 886. Понад 80% з них, за словами вчених, могли мати астероїди, а решту – комети. Однак якщо це був астероїд, то знову виникає запитання: „Чому він повністю розвалився?“ Ймовірно це був об'єкт, подібний на астероїд „Матильда“, який 1997 року сфотографував космічний зонд, що пролітав повз нього. „Матильда“ – це гора „сміття“ з густиною майже як у воді. Тобто якщо стався вибух, то фрагменти цього астероїда розсіялись в атмосфері і Землі досягла лише ударна хвиля.

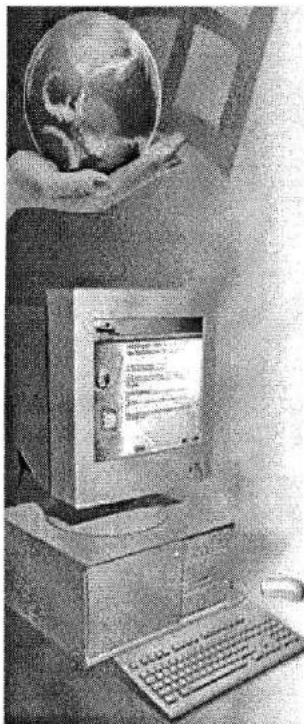
## Міст Леонардо да Вінчі побудували через 500 років!

Міст, задуманий Леонардо да Вінчі п'ять сторіч тому, нарешті побудували. Архітектори, що проєктували міст, вважають, що він абсолютно сучасний.

За 500 років, віддтоді, як відомий діяч епохи Відродження запропонував ідею мосту, місце його побудови змінилось. Міст мали побудувати в Стамбулі, і він мав сполучити береги бухти Золотий ріг. Однак його побудували у невеликому містечку Ас, на півдні Норвегії.

Довжина мосту становить 346 метрів. У часи Леонардо да Вінчі таких довгих мостів не було. Ідею вважали нездійсненною.





Основа конструкції – три арки, що підтримували міст – була визнана лише через 300 років після того, як Леонардо да Вінчі створив свій проєкт. Це ще раз підтверджує думку, що мислитель мав дар заглядати в майбутнє!

Чи можна було в часи Відродження збудувати такий міст, використовуючи тодішні засоби будівництва? Леонардо да Вінчі у це вірив.

„Вперше ідеї Леонардо да Вінчі втілені в життя, – заявив норвезький архітектор Вебйорн Санд, що переконав владу виділити кошти на проєкт. Адже ще нікому не вдавалось побудувати щонебудь із задуманого Леонардо да Вінчі у натуральну величину”.

„Коли працюєш з геніями, зустрічаєшся з ідеями, які ніколи не виходять з моди”, – сказав Санд.

## „Обличчя” на Марсі...

Американський космічний апарат „Вікінг-1”, фотографуючи поверхню Марса в пошуках місця посадки свого „молодшого брата” – „Вікінг-2”, перслав на Землю зображення, що дуже нагадувало обриси обличчя людини. За декілька днів НАСА опублікувало ці фотографії з підписом „Величезна скальна структура, що нагадує обличчя людини...” (див. рис. 1).

Однак багато хто повірив у те, що це і є обличчя, точніше його скульптурна копія, витворена руками марсіян. Їм вдалось також знайти „рукотворні об’єкти”, залишені давньою марсіянською цивілізацією в тому ж районі де й „обличчя”. І хоча вчені з серйозною репутацією не підтримували думки, що це скульптурний фрагмент, залишений інопланетянами, фотографування району стало одним з пріоритетних завдань нової марсіянської станції – Mars Global Surveyor (MGS), яка розпочала роботу у вересні 1997 року. MGS – це картографічний апарат, зазвичай він „дивиться” вниз і сканує марсіянську поверхню завширшки 2,5 км, і тому „обличчя” не може часто потрапляти в його об’єктиви.

8 квітня 2000 року в ясну погоду над цим районом, MGS зробив свої останні фотографії цього об’єкта. „По-моєму це зовсім не подібне на обличчя!” – одразу ж вигукнув один з спостерігачів. Змодельована тримірна карта місцевості дає змогу дивитись на незвичайну структуру під будь-яким кутом. З’ясувалось, що „обличчя” не має очей, носа і рота (див. рис. 2).

Чи переконає це скептиків, точніше оптимістів? Адже деякі з фотографій, зроблених MGS, дадуть змогу ученим припустити, що на Марсі була вода, а це дає підстави вважати, що на планеті могло існувати життя...

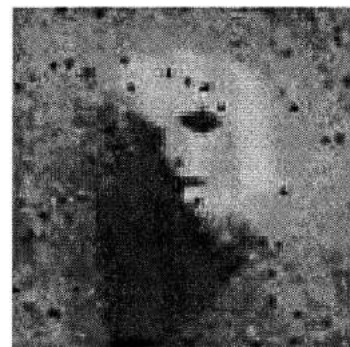
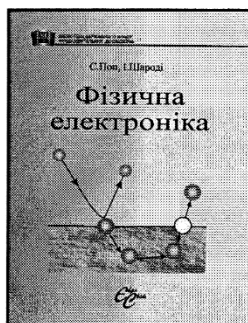


Рис. 1.



Рис. 2.

**Поп С., Шароді І. Фізична електроніка.** – Львів: Євросвіт, 2001. – 248 с.: іл.



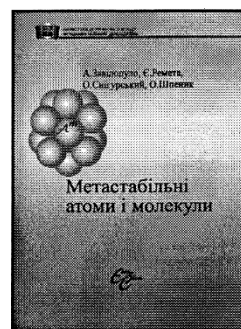
У підручнику викладено основні закономірності й механізми емісійних явищ, які протікають під час нагрівання поверхні твердого тіла або дії на неї електричного поля, фотонів, електронів, йонів. Розглянуто методи аналізу і дослідження на атомному рівні мікроскопічних характеристик поверхні, які ґрунтуються на цих емісійних явищах. Подано приклади їх практичного застосування.

Для студентів та аспірантів фізико-математичних й інженерних спеціальностей вищих закладів освіти.

**Завілопуло А., Снігурський О., Ремета Є., Шпеник О. Метастабільні атоми і молекули.** – Львів: Євросвіт, 2001. – 440 с.: іл.

Автори книжки – провідні спеціалісти у галузі фізики електронних і атомних зіткнень широко відомі у світі наукової школи професора І.П. Записочного. Монографія містить інформацію про структуру і властивості атомних систем, які містяться у довгоживучих (зокрема метастабільних) станах, перерізів збудження і методів їх визначення. Подано основні відомості про властивості і параметри метастабільних станів атомних частинок – енергії збудження, ефективні перерізи, часи життя тощо, які важливі для з'ясування суті процесів і явищ, що відбуваються у газових лазерах, низькотемпературній та інших видах плазми природного та штучного походження. Зроблено досить повний огляд сучасної літератури з цієї тематики та показано вагомий внесок українських фізиків у дослідження у цій галузі. Вперше у світовий науковій літературі систематично розкрито роль та значення метастабільних частинок для вирішення багатьох прикладних проблем сучасної науки і техніки.

Книга призначена для студентів старших курсів фізичної та хімічної спеціальностей, аспірантів та науковців, які займаються проблемами фізики атомних зіткнень, високотемпературної і низькотемпературної плазми, фізики лазерів, астрофізики.



**Євросвіт**

ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

1. Зербіно Д. Наукова школа: лідер і учні. – Львів: Євросвіт, 2001. – 208 с.: іл.
2. Довгий Я. Чарівне явище надпровідність. – Львів: Євросвіт, 2000. – 440 с.
3. Осягнувши найбільшу Любов. – Львів: Євросвіт, 2001. – 184 с.: іл.
4. Алексейчук В., Гальчинський О., Шопа Г. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки. – Львів: Євросвіт, 2000. – 168 с.
5. Максимчук В.Ю., Городиський Ю.М., Кузнецова В.Г. Динаміка аномального магнітного поля Землі. – Львів: Євросвіт, 2001. – 308 с.: іл.
6. Гаральд Іро. Класична механіка /Переклад з нім. Р.Гайди, Ю.Головача /За ред. І.Вакарчука. – Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 1999. – 464 с.
7. Вакарчук І. Вступ до проблеми багатьох тіл. Посібник. – Львів: ЛНУ ім.І.Франка, 1999. – 220 с.: 12 іл.
8. Вакарчук І. Квантова механіка. – Львів: ЛДУ ім. І.Франка, 1998. – 616 с.: 73 іл.
9. Франко І. Абу-Касимові капці. – Львів: Євросвіт, 1998. – 96 с.: 10 іл.
10. Попович О. Партії та розповіді шахіста з Америки. – Львів: Академічний експрес, 1996. – 153 с.
11. Серія книг В. Круковської про українські звичаї святкувати християнські свята: Святкуймо Миколая, Різдво, Великдень, Зелені Свята, Івана Купала, Андрія.

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



МИСТЕЦЬКА  
СТОРІНКА  
ЖУРНАЛУ  
"СВІТ ФІЗИКИ"

## Журнал «Світ фізики» найкращий в Україні

визнало журі престижного форуму видавців  
у Львові у номінації «Періодичні видання»

Щиро вітаємо усіх, хто творить цей  
журнал



Передплачуйте і читайте  
наш журнал

Пишіть до журналу  
«Світ фізики»

Передплатний індекс:  
**22577**

