

# СВІТ ФІЗИКИ

№2  
2004

науково-популярний журнал



**Презентація книжок  
чеських фізиків**

- **НОВА РУБРИКА:  
фізика для  
наймолодших**



## ЧЕСЬКІ ФІЗИКИ ЗНАЙОМЛЯТЬСЯ З УКРАЇНСЬКИМИ УНІВЕРСИТЕТАМИ

На запрошення Львівського національного університету імені Івана Франка у квітні 2004 року для налагодження співпраці в Україні перебували фізики Чеського технічного університету в Празі професори



*Ректор Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя О. Шаблій (у центрі) з фізиками з Праги (м. Тернопіль, 17 квітня 2004 р.)*

Ладіслав Мусілек та Іво Краус. Чеські науковці зустрілися з ректорами Львівського національного університету імені Івана Франка Іваном Вакарчуком і Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя Олегом Шаблієм, проректором з наукової роботи Національного університету „Львівська політехніка” Юрієм Бобалом. В Україні чеські фізики ознайомилися з напрямками наукових досліджень, програмою підготовки фахівців, відвідали наукові лабораторії, зустрілися з українськими науковцями та студентами. Зокрема професор Л. Мусілек прочитав студентам фізичного факультету та факультету електроніки Львівського національного університету імені Івана Франка та Тернопільського технічного університету імені Івана Пулюя лекцію „Використання йонізаційного випромінювання для дослідження пам’яток культури”.



*Під час зустрічі ректора ЛНУ імені Івана Франка Івана Вакарчука (в центрі) з проф. Ладіславом Мусілеком (ліворуч) та Іво Краусом (праворуч) (м. Львів, 16 квітня 2004 р.)*



*Проректор з міжнародних питань Національного університету „Львівська політехніка” Юрій Бобало (другий зліва) під час зустрічі з гостями (м. Львів, 15 квітня 2004 р.)*

У Львові відбулася презентація книжок чеських фізиків Іво Крауса „Вільгельм Конрад Рентген” та Івана Штола „Крістіан Доплер”, які вийшли з друку у видавництві „Євросвіт” у серії „Бібліотека „Світ фізики” у перекладі українською мовою.

Історія співпраці чеських та українських науковців має давні традиції, адже відомий фізик українського походження Іван Пулюй жив і працював у Празі. Професор Іво Краус досліджує наукову спадщину нашого великого земляка. Гості побували на батьківщині Івана Пулюя у с. Гримайлові (Тернопільщина), відвідали могилу його батьків, шкільний музей, зустрілися з учителями Гримайлівської школи та поклали квіти до пам’ятника Івана Пулюя.

*Під час лекції професора Л. Мусілека*

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 прим.

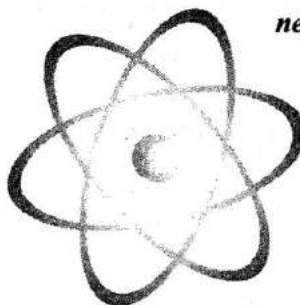
**Адреса редакції:**

редакція журналу „Світ фізики”  
вул. Саксаганського, 1,  
м. Львів 79005, Україна  
тел. у Львові 380 (0322) 96 46 73  
у Києві 380 (044) 415 60 68  
sf@ktf.franko.lviv.ua; phworld@franko.lviv.ua  
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

„...найкраща праця в університеті – це студенти. Вони входять у новий, здивований, відкритий для ідей, світ, нетравмовані ще невдачами життя. Вони не розуміють ще багато, але вони – отримувачі найкращого, яке наше суспільство може їм запропонувати. Це найкращий час для творчості. Для них підручники й професори є авторитетними, але врешті-решт вони усвідомлюють, що ані книжки, ані професори всього дати не можуть і вони починають мислити самостійно. Тоді я починаю вчитися у них...”

**Тед Гебалл**

*Не забудьте  
передплатити журнал  
„Світ фізики”*



**Передплатний індекс  
22577**

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

© СП „Євросвіт”

# ЗМІСТ

## 1. Нові й маловідомі явища фізики

*Бережної Юрій.* Ядерна оптика – місток між квантовою і класичною фізикою

3

## 2. Фізика України

*Анісімов І.О., Левитський С.М., Сигаловський Д.Ю.* Наум

Давидович Моргуліс (до 100-річчя від дня народження) 11

*Шевченко Л.* З історії досліджень керованого термоядерного синтезу

15

## 3. Фізика світу

*Шона Г., Гальчинський О.* Ч–Т–Р – автор конденсаційної камери

19

## 4. Актуальні проблеми...

*Яцків Ярослав.* Науково-технологічна сфера України. Загальностатистичні дані та спроби передбачення

22

## 5. Олімпіади, турніри...

*Лабудько Степан.* Всеукраїнська олімпіада з фізики в Сумах

28

Умови задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 року

30

Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 року (8–9-ті класи)

34

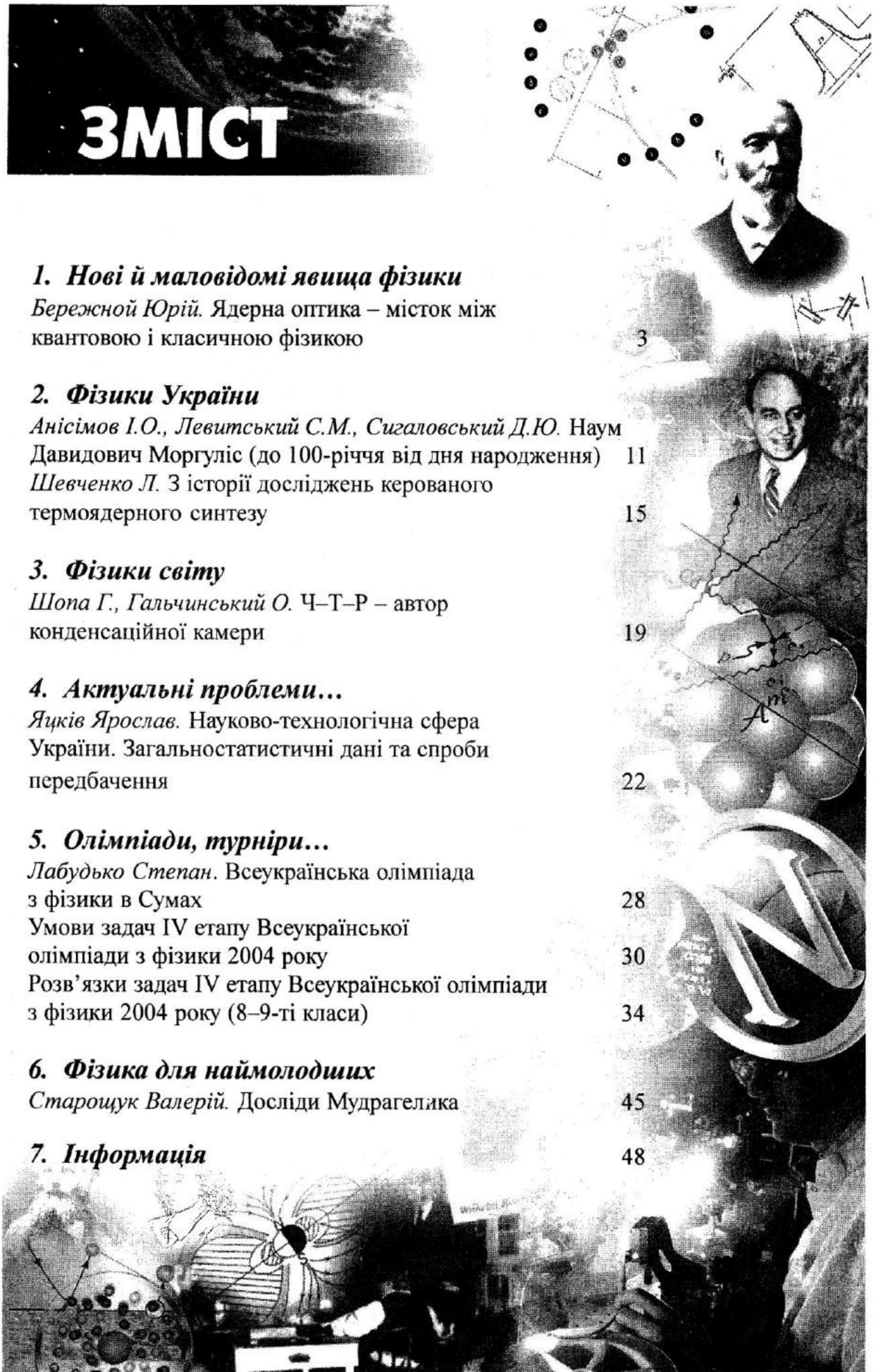
## 6. Фізика для наймолодших

*Старощук Валерій.* Досліди Мудрагелика

45

## 7. Інформація

48







## ЯДЕРНА ОПТИКА – МІСТОК МІЖ КВАНТОВОЮ І КЛАСИЧНОЮ ФІЗИКОЮ

Юрій Бережній

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

Людина живе у великому і складному світі, у якому відбуваються різноманітні фізичні процеси. Інформацію про ці процеси людина одержує за допомогою своїх органів почуттів. Щоб ця інформація була повнішою і точною, послуговуються різними приладами і пристроями. Світ, що оточує нас, макроскопічний. Фізичні явища в цьому макроскопічному світі описує класична фізика, до якої належать класична механіка, механіка суцільних середовищ, термодинаміка та електродинаміка. Класична фізика має справу з явищами, де питання про мікроструктуру речовини не відіграє істотної ролі. Тому вона не дає вичерпної теорії будови речовини. Законам класичної фізики підкоряється рух усіх об'єктів, розміри яких перевищують  $R_{\text{кл}} > 10^{-6}$  м. Це об'єкти, які можна спостерігати в оптичний мікроскоп, або об'єкти більших розмірів. Класична механіка визначає також рух планет, зір і галактик.

Водночас існує зовсім інший надзвичайний світ, фізичних явищ в якому людина не може спостерігати безпосередньо за допомогою своїх органів почуттів. Це дивовижний квантовий світ, об'єкти якого підкоряються законам квантової фізики, а їхні розміри дуже малі  $R_{\text{кв}} < 10^{-8}$  м. Це мікроскопічний світ молекул, атомів, атомних ядер і елементарних частинок.

Існування квантового світу із законами, які істотно відрізняються від законів класичної фізики, пов'язане з тією обставиною, що закони природи не інваріантні стосовно перетворення подібності. Іншими словами, насправді виявляється неправильним принцип подібності, який здається з першого погляду дуже правдоподібним. Цей принцип можна сформулювати так: абсолютні розміри тіл неістотні, коли властивості останніх розглядаються у відповідно вибраному масштабі.

Існування найдрібніших „цеглинок” – хемічних елементів – атомів, які мають скінченні розміри, існування елементарного електричного заряду й граничної швидкості (швидкості світла) означає безпідставність принципу подібності та неінваріантність законів природи стосовно масштабних перетворень. Звідси виникає відмінність фізичних законів, яким підкоряється рух об'єктів на великих і малих відстанях.

Є й інші глибокі причини, які приводять до відмінності законів класичної і квантової фізики. Справді, з погляду класичної фізики, атом не може існувати, тому що атомний електрон, який рухається за криволінійною траєкторією, буде випромінювати енергію, внаслідок чого він поступово наближався б до атомного ядра, що призвело б до колапсу атома. З позиції класичної фізики також неможливо пояснити встановленого експериментально корпускулярно-хвильового дуалізму квантових об'єктів.

Явища і процеси, у яких беруть участь атомні ядра, є предметом ядерної фізики – важливого розділу сучасної квантової фізики. Однак, незважаючи на ту обставину, що квантові закони, яким підкоряється рух ядерних об'єктів, істотно відрізняються від законів, що панують у макроскопічному світі, існує широка аналогія між певними ядерними і класичними процесами. Тому перейдімо до розгляду аналогії між низкою ядерних і оптичних явищ, яка дає змогу виявити їхній взаємозв'язок і зрозуміти відмінності між ними.

Подібності між ядерними та оптичними явищами виникають тому, що ядерний об'єкт, як і будь-який квантовий об'єкт, має хвильові властивості. Саме хвильова природа ядерних частинок приводить до того, що певна кількість ядерних процесів має аналогію в оптиці. Такі процеси





можна об'єднати в спеціальний розділ ядерної фізики, який називають ядерною оптикою.

Основну частину інформації про структуру молекул, атомів, атомних ядер й елементарних частинок одержують, вивчаючи процеси взаємодії між квантовими об'єктами. У ядерній фізиці з цією метою насамперед досліджують пружне і непружне розсіяння частинок ядрами, а також різноманітні ядерні реакції.

Якщо енергія частинки достатньо велика, то пружне розсіяння такої частинки атомним ядром подібне до розсіяння світла (електромагнетної хвилі) сферичною краплею рідини з певними величинами показника заломлення і коефіцієнта поглинання. У класичній фізиці такий процес розсіяння світла краплею можна описати, вводячи комплексний показник заломлення.

Розглянемо розсіяння нуклона (нуклонної хвилі) атомним ядром. Поза ядром нуклонна хвиля характеризується хвильовим вектором, модуль якого дорівнює:

$$k = \frac{\sqrt{2mE}}{h},$$

де  $m$  і  $E$  – маса нуклона та його енергія,  $h$  – стала Планка.

Усередині ядра модуль хвильового вектора нуклона становить

$$K = \frac{\sqrt{2m(E-U)}}{h},$$

де  $U$  – ефективний потенціал взаємодії розсіяного нуклона з ядром.

Показник заломлення ядерної речовини  $\nu$  визначають за формулою:

$$\nu = \frac{K}{k} = \sqrt{1 - \frac{U}{E}}.$$

Бачимо, що коли показник заломлення є комплексною величиною

$$\nu = \nu_1 + i\nu_2$$

де  $\nu_1$ ,  $\nu_2$  – дійсні величини), то потенціал взаємодії ядра з нуклоном, який налітає, також буде комплексною величиною

$$U = -V - iW,$$

де  $V$  і  $W$  – дійсні величини, від'ємність потенціалу означає, що відбувається притягання й поглинання розсіяваних нуклонів ядром.

Якщо енергія розсіяваних нуклонів достатньо велика, так що справджується нерівність

$$E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} \gg |U|,$$

то вираз для показника заломлення можна наближено записати у вигляді

$$\nu \approx 1 - \frac{U}{2E} = 1 + \frac{mV}{\hbar^2 k^2} + \frac{imW}{\hbar^2 k^2}.$$

Звідси для ядерної речовини маємо

$$\nu_1 \approx 1 + \frac{nV}{v^2 k^2}, \quad \nu_2 \approx \frac{mW}{\hbar^2 k^2}.$$

Отже, комплексний потенціал  $U$  має простий фізичний зміст: його дійсна частина описує заломлення розсіяної хвилі ядерною речовиною, тоді як його уявна частина визначає поглинання розсіяваних частинок ядрами.

Комплексний нуклон-ядерний потенціал називається оптичним потенціалом, а модель, яка використовує для опису взаємодії частинок з ядрами комплексні потенціали, називається оптичною моделлю. Суть оптичної моделі полягає в тому, що багаточастинкова взаємодія нуклона, який налітає, з окремими нуклонами ядра (або з іншими частинками, які можуть міститися в ядрі) замінюється ефективним двочастинковим нуклон-ядерним потенціалом, тобто складна багаточастинкова задача зводиться до простої двочастинкової задачі. В оптичній моделі ядро розглядається як крапля ядерної рідини, що характеризується певними заломлювальними і поглинальними властивостями. Основи оптичної моделі вперше сформулювали Г. Фешбах, Ц. Портер і В. Вайскопф 1953 року.

Модель, у якій атомне ядро розглядають як краплю рідини, – це дуже спрощений підхід, оскільки в такій моделі не враховано численних властивостей атомних ядер. Однак, незважаючи на це, оптична модель ядерного розсіяння виявилась могутнім теоретичним інструментом для опису багатьох процесів взаємодії різних частинок з атомними ядрами.



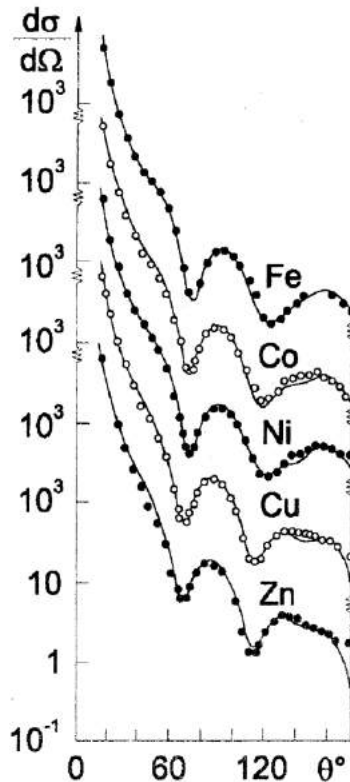


Рис. 1.

Будь-який процес розсіяння характеризується величиною, яку називають диференціальним перерізом  $d\sigma$ . У найпростішому випадку пружного розсіяння диференціальний переріз  $d\sigma$  визначається відношенням кількості частинок  $dN$ , розсіяних в елемент тілесного кута  $d\Omega$  за одиницю часу, до абсолютної величини густини потоку  $j_0$  частинок, які налітають:

$$d\sigma = \frac{dN}{|j_0|}$$

Переріз має розмірність площі. У ядерній фізиці для перерізів використовують спеціальні величини: 1 барн (б) =  $10^{-28}$  м<sup>2</sup>, 1 мбарн (мб) =  $10^{-31}$  м<sup>2</sup>. На рис. 1, як приклад, зображено диференціальні перерізи (мб/ср) пружного розсіяння протонів з енергіями 17 МеВ ядрами заліза, кобальту, нікелю, міді й цинку як функції кута розсіяння  $\theta$ : точки – експериментальні дані, криві розраховані за оптичною моделлю. Рис. 1 свідчить, що оптична модель дає змогу досить добре описати експериментальні дані з розсіяння про-

тонів різними ядрами. Аналіз даних за оптичною моделлю дає змогу одержати параметри комплексного оптичного потенціалу, які характеризують властивості конкретних ядер.

Якщо енергія частинок, що налітають, достатньо велика, так що справджується  $\lambda \ll R$  ( $\lambda = 2\pi/k$  – довжина хвилі де Бройля частинки,  $R$  – радіус ядра), то виявляється, що ядра сильно поглинають ці частинки. Розсіяння, зумовлене існуванням сильно поглинаючого ядра, за умов малих довжин хвиль частинок аналогічне дифракції світла від чорної кулі в оптиці. Тому воно зветься дифракційним розсіянням. Дифракційне розсіяння нейтронів ядрами за аналогією з оптичною дифракцією Фраунгофера вперше розглянули Г. Плачек і Г. Бете 1940 року.

В оптиці фраунгоферова дифракційна картина спостерігається тоді, коли джерело світла і точка спостереження розташовані на нескінченній віддалі від сильно поглинаючого розсіювача. До того ж промені від джерела світла поширюються до екрана паралельним пучком. Паралельними будуть також промені, які поширюються від ближнього і дальнього країв екрана до точки спостереження. Тому, при дифракції Фраунгофера маємо справу із зміною напрямків променів світла, які зазнають дифракції поблизу від краю екрана.

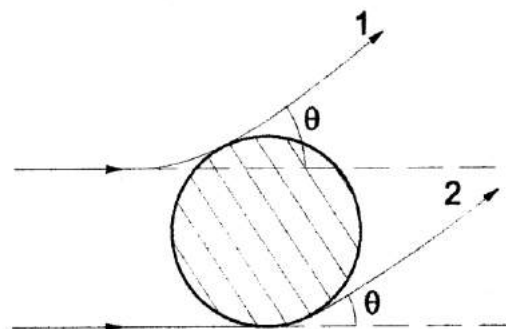


Рис. 2.

Дифракційне розсіяння – це інтерференційне явище. В оптичній дифракції Фраунгофера відбувається інтерференція між променем 1, що розсіюється ближнім краєм розсіювача, і променем 2, який розсіюється дальнім краєм розсіювача (рис. 2). Виникнення інтерференційної картини зумовлене тим, що фази ближнього і дальнього променів внаслідок розсіяння відрізняються.





оскільки довжина траєкторії дальнього променя більша від довжини траєкторії ближнього променя на величину  $S \approx 2R\theta$  (кут розсіювання  $\theta$  при дифракції Фраунгофера малий).

При дифракції Фраунгофера домінують малі кути розсіювання

$$\theta \leq \lambda/R \ll 1,$$

де  $\lambda = \lambda/2\pi$ .

На цю область кутів розсіювання припадає майже 84 % інтенсивності нейтронів, які розсіюються сильно поглинальними ядрами. Фраунгоферова дифракційна картина – це чергування максимумів і мінімумів інтенсивності розсіяних частинок, а диференціальний переріз пружного розсіювання нейтронів ядрами поводить себе подібно до відношення інтенсивностей розсіяного і падаючого на екран світла в оптиці.

Насправді властивості атомного ядра відрізняються від властивостей чорної кулі в оптиці. Ядро має вузький розмитий поверхневий шар, у якому густина ядерної матерії швидко змінюється від величини, характерної для внутрішньої частини ядра, до нуля. Урахування розмиття ядерної поверхні приводить до швидшого (експоненційного) зменшення обвідної максимумів фраунгоферової картини в ядерному розсіянні на відміну від оптики, де обвідна максимумів зменшується за законом  $\theta^{-3}$ .

Розмита ядерна поверхня подібна до так званої аподизації (зміни функції зрачка) в оптиці. Під час розсіювання частинок ядрами також істотну роль відіграють заломлення розсіюваних нуклонних хвиль під час проходження крізь напівпрозорий поверхневий шар ядра і кулонівська взаємодія заряджених частинок з ядрами (дифракція „заряджених” променів), що приводить до часткового заповнення мінімумів диференціального перерізу розсіювання.

У ядерному розсіянні можливе також непружне розсіювання частинок, при якому атомне ядро внаслідок взаємодії з первісною частинкою переходить у збуджений стан. Такий процес при достатньо великій енергії частинок, які налітають, має дифракційний характер. Проте процес непружного розсіювання не має аналогії в оптиці.

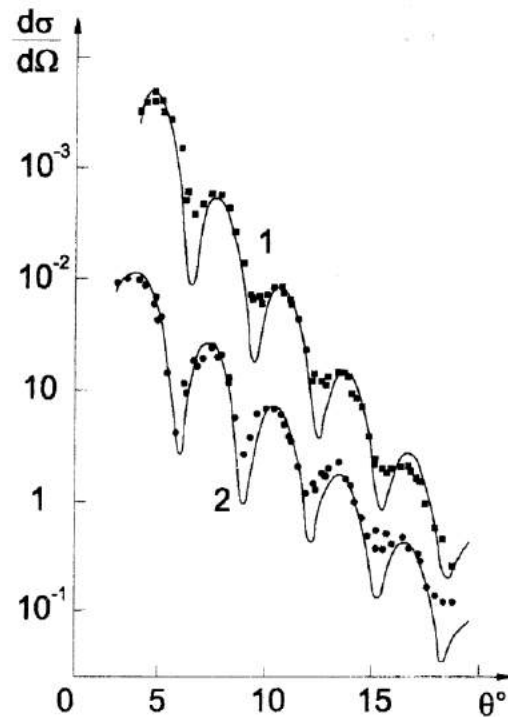


Рис. 3.

На рис. 3 зображено диференціальні перерізи (мб/ср) пружного 1 і непружного 2 розсіювання протонів з енергіями 1 GeV ядрами  $^{208}\text{Pb}$ : точки – експериментальні дані, криві – результати розрахунків за дифракційною теорією. На цьому рисунку бачимо характерну фраунгоферову дифракційну картину розсіювання (чергування максимумів і мінімумів перерізів).

Дифракційного розсіювання зазнають також складні частинки – дейтрони, ядра  $^3\text{H}$  та інші легкі ядра при ядерному розсіянні. При дифракційній взаємодії складних частинок з ядрами, крім пружного і непружного розсіювання, можна спостерігати також процеси часткового або повного розщеплення частинки, що налітає, під час зіткнення з ядром. Наприклад, дейтрон під час ядерного зіткнення може розпадатися на нейтрон і протон (дифракційне розщеплення дейтрона).

Можливий також процес, при якому один з нуклонів, що входять до складу дейтрона, поглинається ядром, тоді як інший нуклон зали-



шається вільним. Такий процес називається реакцією дейтронного зриву. Процеси розщеплення складних частинок у полі ядер мають дифракційний характер і подібно до непружного розсіювання не мають аналогії в оптиці.

Під час зіткнення складних частинок з ядрами можливі процеси передавання одного або декількох нуклонів і від частинки, що налітає, ядрові (реакції зриву), і від ядра первісній частинці (реакції підхоплення). Поряд із розщепленням частинки, що налітає, можливий також процес розпаду ядра на дві або більшу кількість частин (фрагментація). В області дуже великих енергій під час зіткнення частинки з ядром можуть також відбуватися процеси народження нових частинок (мезонів, нуклонних пар та інших). Такі ядерні реакції є дифракційними процесами і також не мають аналогії в оптиці.

Крім фраунгоферової дифракційної картини, в оптиці спостерігається й дифракційна картина, яку називають дифракцією Френеля. У цьому випадку джерело світла і точка спостереження розташовані на скінченній відстані від непрозорого екрана, або одна з цих точок розташована на скінченній відстані від екрана, а інша – на нескінченності. Френелева дифракційна картина виникає завдяки інтерференції прямого променя світла 1, який поширюється від джерела до точки спостереження, і променя 2, розсіяного ближнім краєм розсіювача. Можливі ситуації розсіювання, які приводять до дифракції Френеля в оптиці, зображено на рис. 4–6.

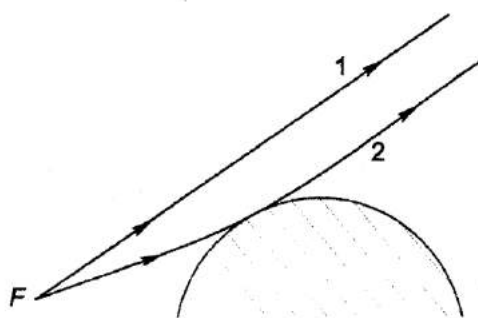


Рис. 4.

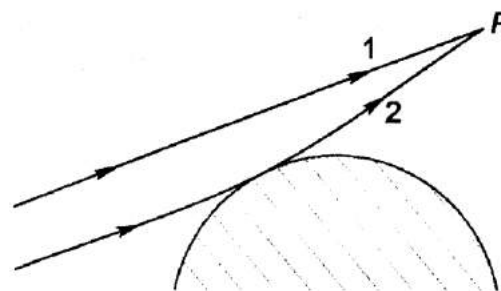


Рис. 5.

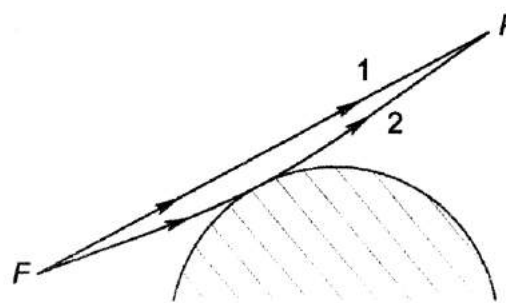


Рис. 6.

Чому френелева дифракційна картина спостерігається під час розсіювання заряджених частинок сильно поглинальними ядрами. При переході до ядерного розсіювання передусім здається, що ситуацію, яка приводить до дифракції Френеля в оптиці, не можна здійснити. Справді, для спостереження дифракції Френеля треба, щоб відстань від ядра до джерела частинок або спостерігача була скінченною. У разі розсіювання нейтронів це неможливо, тому що треба розташувати джерело нейтронів на відстані від ядра порядку його розмірів. Проте ситуація істотно змінюється, якщо перейти від нейтронів до заряджених частинок.

Завдяки кулонівській взаємодії частинки розсіюються ядром так, немовби вони вилітають із віртуального точкового джерела, розташованого на скінченній відстані  $a$  від ядра. Кулонівська взаємодія має бути достатньо сильною, оскільки вона мусить сильно викривлювати розсіювані хвилі й хвильовий фронт має помітну кривину на відстанях порядку лінійного розміру ядра. Якщо ядро сильно поглинає частинки, що налітають, а їхня довжина хвилі  $\lambda$  набагато менша





від радіуса ядра  $R$ , то картина розсіювання буде аналогічна дифракції Френеля від чорної кулі в оптиці. Відстань  $a$  визначається виразом

$$\alpha = \frac{(kR - n)^2}{2nk},$$

де  $n = Z_1 Z_2 e^2 / (h\nu)$  – так званий кулонівський параметр ( $e$  – елементарний заряд;  $Z_1$  і  $Z_2$  – зарядові числа частинки, що налітає, і ядра;  $\nu$  – швидкість частинки).

Відтак зрозуміло, що умови, які потрібні для спостереження френелевої дифракційної картини, справджуються за наявності сильної кулонівської взаємодії ( $n \gg 1$ ). У цьому випадку сильне електричне поле поблизу ядерної поверхні діє на падаючі хвилі подібно до розсіювальної лінзи, якщо знак заряду частинки збігається із знаком заряду ядра, або збірної лінзи, коли знак заряду частинки протилежний до знака заряду ядра. Фокусна відстань  $f$  такої лінзи визначається формулою

$$f = a - \frac{n}{k}.$$

Відношення диференціального перерізу пружного розсіювання до резерфордівського  $d\sigma(\theta)/d\sigma_R(\theta)$  у цьому разі подібно до відношення інтенсивностей розсіяного краєм півплощини і падаючого світла в оптиці. Вперше дифракційне розсіювання френелевого типу в ядерній фізиці пояснив В. Фран 1966 року.

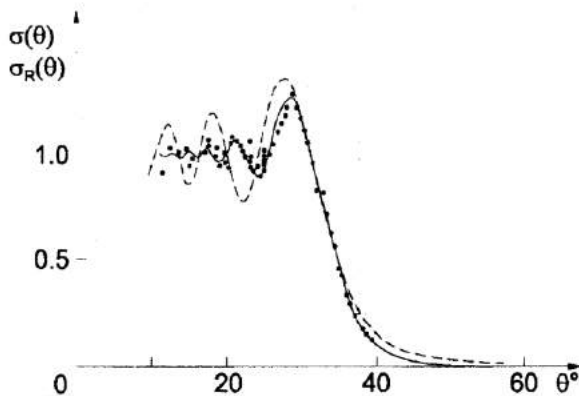


Рис. 7.

На рис. 7 зображено відношення перерізів  $d\sigma(\theta)/d\sigma_R(\theta)$  для пружного розсіювання ядер  $^{16}\text{O}$

з енергіями 170,1 МеВ ядрами  $^{208}\text{Pb}$ : точки – експериментальні дані, штрихова і суцільна криві – результати розрахунків за простою оптичною формулою і з урахуванням реальних властивостей ядер (розмиття ядерної поверхні, заломлення розсіюваних хвиль краєм ядра тощо).

Можна сформулювати в загальному вигляді умови, які дають змогу з'ясувати, коли в ядерному розсіянні спостерігається фраунгоферова або френелева картина розсіювання. Перша з них спостерігається тоді, коли справджується нерівність  $p \ll 1$ , де

$$p = \frac{(kR - 2n)R}{a},$$

а друга –  $p \leq 1$ . Отже, величина  $p$  повністю визначає тип дифракційної картини розсіювання. Різні процеси розсіювання з однаковими величинами  $p$  дають однакові дифракційні картини, а диференціальні перерізи таких процесів збігаються. У цьому полягає закон подібності (скейлінгу) для ядерної дифракції.

Крім дифракційного розсіювання, існує й інший цікавий тип ядерного розсіювання, який має аналогію в оптиці. Це райдужне розсіювання. Назва райдуги походить від старослов'янського слова „рад”, яке означає веселий. Райдуга в атмосфері, яку називають веселкою – одне з найкрасивіших природних явищ. Пояснення фізичної природи цього явища було зроблене лише тоді, коли відкрили закони заломлення і відбиття променів світла на межі двох середовищ, а також закони поширення електромагнетних хвиль.

Можливість райдужного розсіювання в атомних і ядерних зіткненнях вперше встановили К. Форд і Дж. Вілер 1959 року.

Нагадаймо передусім суть явища райдуги в оптиці. Мова йде про заломлення і внутрішнє відбиття променів світла у краплі рідини, коли розміри краплі великі порівняно з довжиною хвилі світла. На рис. 8 зображено найпростіший випадок проходження променів крізь краплю. Цей рисунок показує, що на сферичну краплю падає паралельний пучок променів, які зазнають заломлення при вході до краплі, потім промені проходять крізь краплю і зазнають повного внутрішнього відбивання від поверхні краплі та, нарешті, виходять з краплі, знову зазнаючи заломлення на її поверхні.

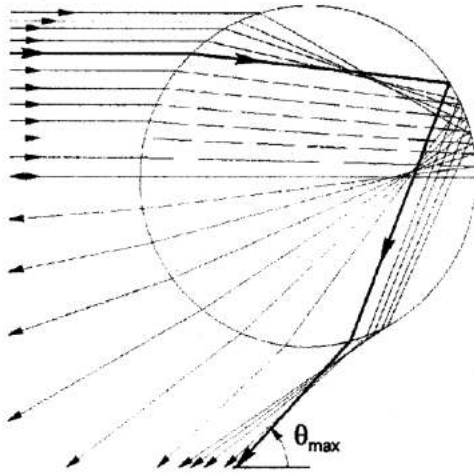


Рис. 8.

Із рис. 8 бачимо, що існує деякий максимальний кут  $\theta_{\max}$  між напрямками променів, які падають на краплю і виходять з неї (під кутами, що перевищують  $\theta_{\max}$  таких променів немає). Поблизу кута  $\theta_{\max}$  спостерігається згущення променів, характерне для райдуги. Граничний кут для краплі води становить  $\theta_{\max} \approx 42^\circ$ , що відповідає кутові розсіяння  $\theta = \pi - \theta_{\max} \approx 138^\circ$ . Граничний кут  $\theta_{\max}$  майже не залежить від радіуса краплі, якщо її радіус набагато перевищує довжину хвилі світла. Кольорова райдуга в атмосфері зумовлена різними величинами показників заломлення в речовині краплі для променів з різними довжинами хвиль, внаслідок чого згущення променів для них відбувається при різних значеннях кутів  $\theta_{\max}$ .

Явище райдужного розсіяння існує і в класичній механіці. Аналогія між розсіянням світла і частинок полягає в тому, що при райдужному розсіянні існує граничний кут, біля якого згущуються класичні траєкторії (промені), тобто виникає збільшення інтенсивності розсіяних частинок поблизу деякого кута  $\theta_r$ , що зветься кутом райдуги. Обвідна променів, що згущаються поблизу кута райдуги зветься каустикою.

Райдужне розсіяння існує також і в ядерній фізиці. У цьому випадку спостерігається особлива поведінка диференціального перерізу розсіяння.

У ділянці порівняно невеликих кутів диференціальний переріз пружного розсіяння осцилює, проте ці осциляції швидко загасають. Потім переріз має великий і широкий максимум (райдужний максимум), поза яким він швидко й плавно зменшується. Кут райдуги  $\theta_r$  розмежовує дві області. Область  $\theta < \theta_r$  є освітленим боком райдуги, а область  $\theta > \theta_r$  – затемнений бік райдуги (область тіні), якщо виходити з оптичної аналогії. Зазначмо, що в класичній механіці диференціальний переріз сингулярний при  $\theta \rightarrow \theta_r - 0$  (це позначення свідчить, що кут  $\theta$  прямує до  $\theta_r$  з боку кутів, менших за останній) і становить нуль при  $\theta > \theta_r$ .

Ядерна райдуга спостерігається переважно під час розсіяння легких ядер  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$  та інших з енергіями 25–30 МеВ/нуклон середніми і важкими ядрами. У цьому випадку істотна невелика прозорість і велике заломлення ядерної речовини стосовно розсіюваних частинок.

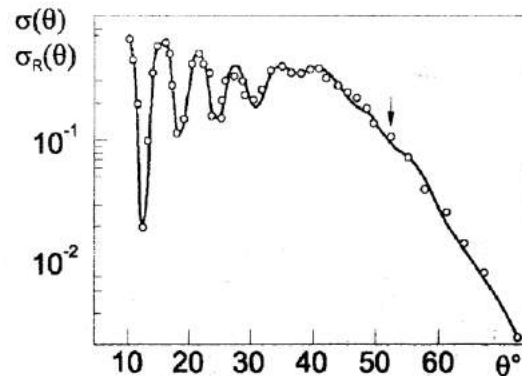


Рис. 9.

На рис. 9 зображено відношення диференціальних перерізів  $d\sigma(\theta)/d\sigma_R(\theta)$  для пружного розсіяння  $\alpha$ -частинок з енергіями 140 МеВ ядрами  ${}^{50}\text{Tl}$ : точки – експериментальні дані, суцільна крива – результати теоретичного розрахунку, стрілка визначає кут райдуги  $\theta_r$ . Цей рисунок демонструє типову картину ядерного райдужного розсіяння.

Під час розсіяння важких йонів ядрами поглинання набагато сильніше, ніж під час розсіяння легких йонів, а прозорість ядерної речовини вияв-





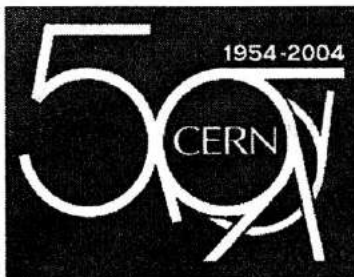
ляється дуже малою. Це робить неможливим виявити ядерну райдугу при взаємодії важких йонів з ядрами. Однак іноді під час розсіяння важких йонів ядрами існує хоч і дуже мала, але все-таки помітна прозорість ядер (у 10–15 разів менша, ніж для легких йонів). Тому в перерізі такого процесу немає добре вираженого райдужного максимуму, який спостерігається під час розсіяння легких йонів, проте все-таки є деякий натяк на формування такого максимуму. Така поведінка перерізу називається примарою райдуги.

Якщо ж райдужне розсіяння спостерігається в диференціальних перерізах пружного розсіяння легких ядер ядрами, то в перерізах непружного розсіяння та інших квазіпружних процесів за участю тих самих ядер, що зіштовхуються, можуть виявлятися ефекти заломлення розсіюваних хвиль, які також приводять до швидкого і плавного спаду перерізів при  $\theta > \theta_r$ . Райдужне розсіяння є прикладом недифракційного процесу інтерференції променів, які проходять крізь краплю.

Диференціальний переріз розсіяння в класичній механіці може мати сингулярності також у випадках, коли  $\theta = 0$  або  $\theta = \pi$ . В оптиці й квантовій механіці спостерігається збільшення інтенсивності розсіяних променів і частинок у напрямках вперед і назад. Це явище називається саявом або глорією. Прикладом саява в оптиці є поява ореолу навколо голови людини, яка стоїть на невеликому горбі і своєю головою затуляє сонце. Звідси, мабуть, походять німби навколо голів у святих, зображених на іконах.

Отже, ми розглянули низку процесів взаємодії частинок достатньо великих енергій з атомними ядрами, які мають аналогію в оптиці (оптична модель, дифракційне розсіяння фраунгоферового і френелевого типів, райдужне розсіяння, саяво). Ці процеси, а також деякі інші процеси, які не мають прямої оптичної аналогії (непружне розсіяння, дифракційне розщеплення частинок та інші), об'єднуються в ядерну оптику, що є своєрідним містком між класичною і квантовою механікою.

## Золотий ювілей Європейського центру ядерних досліджень



Першого липня 1953 року було підписано угоду про заснування ЦЕРНу. За рік, як угоду ратифікували країни-учасниці, Європейський науковий центр офіційно відкрили.

У повоєнні роки в знищеній війною Європі небагато людей були готові вкласти свої кошти у створення європейської наукової лабораторії для фундаментальних досліджень.

Небагато вірили в успіх, але поступово ентузіасти перемогли скептиків. А 29 вересня 1954 року Європейський

центр ядерних досліджень було офіційно відкрито. Нині ЦЕРН не має в світі гідних суперників, а його наукові заслуги очевидні.

ЦЕРН готується до 50-річного ювілею. Святкування заплановано на 16 жовтня 2004 року, офіційне засідання за участю поважних гостей, керівників держав і членів урядів – 19 жовтня. Заплановано відкрити павільйон „Сфера інновацій”. Упродовж 2004 року в країнах-учасницях відбуватимуться й інші заходи. Наприклад, Швейцарія випустить спеціальну марку, присвячену 50-річчю ЦЕРНу.



До 100-річчя від дня народження

# Наум Давидович Моргуліс

**І.О. Анісімов,**

*доктор фізико-математичних наук, професор*

**С.М. Левитський,**

*доктор фізико-математичних наук, професор*

**Д.Ю. Сигаловський,**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, радіофізичний факультет*

У травні цього року виповнилося сто років від дня народження Наума Давидовича Моргуліса – визначного українського вченого, члена-кореспондента АН України, організатора і багаторічного керівника Київської наукової школи фізичної електроніки. Понад три десятиріччя працював Наум Давидович в Інституті фізики Академії наук України, де створив та очолив відділ фізичної електроніки. Він залишив помітний слід і в історії вітчизняної вищої школи, віддавши багато сил створенню в Київському університеті імені Тараса Шевченка спершу кафедри фізичної електроніки, а згодом – радіофізичного факультету, заснованого на її базі.

## Рядки біографії

Наум Давидович Моргуліс народився 14 травня 1904 року в м. Летичеві Хмельницької області, але все своє свідоме життя прожив у Києві. Він 1926 року закінчив фізичне відділення Київського інституту народної освіти (цей навчальний заклад було створено 1920 року на базі ліквідованого Київського університету) і рік працював викладачем робітничих професійно-технічних курсів.

Наум Моргуліс 1927 року вступив до аспірантури науково-дослідної кафедри фізики Всеукраїнської Академії наук (згодом вона була перетворена на Інститут фізики АН України). Тоді ж він розпочав свою педагогічну діяльність як викладач Київського політехнічного інституту (у 1930–1932 рр. працював у цьому Інституті на посаді доцента).



*Наум Давидович Моргуліс  
(14.05.1904–01.09.1976)*

Із 1932 року Наум Моргуліс, не полишаючи Інституту фізики, працював професором відновленого того ж року Київського державного університету, де він створив нову спеціалізацію „Електрофізика”. Наукове звання професор Н.Д. Моргуліс здобув 1934 року, докторську дисертацію захистив 1936 року. Того ж року він очолив відділ фізичної електроніки в Інституті фізики АН УРСР, який сам створив.

Учений 1937 року став заступником директора інституту фізики (на цій посаді він працював до 1941 року). Того ж року в Університеті на базі спеціалізації електрофізики було організовано одно-





йменну кафедру (згодом перейменовану на кафедру фізичної електроніки), яку він очолював від часу її створення до своєї смерті.

Науковця 1939 року обрали членом-кореспондентом Академії наук УРСР.

Під час Другої світової війни Н. Моргуліс перебував в евакуації в Уфі з колективом АН України, де в 1941–1943 роках за сумісництвом завідував кафедрою Уфимського медичного інституту. У 1943–1944 рр. науковець очолював таку саму посаду в Московському електротехнічному інституті інженерів транспорту.

Повернувшись до Києва 1944 року, Наум Моргуліс продовжив роботу на посаді завідувача відділу Інституту фізики і завідувача кафедри Київського університету. А 1961 року перейшов на постійну роботу до Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка. Н. Моргуліс 1965 року став науковим керівником проблемної лабораторії фізичної електроніки, створеної на базі кафедри, яку очолював.

Помер Наум Давидович Моргуліс 1 вересня 1976 року. Його поховали в м. Києві на Байковому цвинтарі.

### Слід у науці

Перелік основних наукових досягнень Наума Давидовича виходить далеко за межі популярної статті. Він опублікував понад 175 наукових праць. Тому зупинимось лише на найважливіших та яскравих результатах, які він отримав. Характерно, що розповідь про дослідження, виконані з ініціативи, за ідеями та за участю Наума Давидовича, часто починається зі слова „вперше”.

Уся наукова діяльність Н. Моргуліса була пов'язана з фізичною електронікою, що зародилася в 20-х роках ХХ сторіччя і розвивається досі. Фізична електроніка – це наука про рух заряджених частинок (електронів та йонів) у вакуумі, газі або твердому тілі під дією електричних і магнетних полів та методи створення приладів і пристроїв на основі цього явища. Прилади, що використовують рух заряджених частинок у вакуумі, називаються електровакуумними, у газах – газорозрядними. У газорозрядних приладах у результаті йонізації газу створюється плазма.

### Напівпровідникова природа катодів

Обов'язковим елементом будь-якого електровакуумного чи газорозрядного приладу є катод – від'ємний електрод, що є джерелом електронів. Залежно від механізму емісії (випускання) електронів розрізняють термоелектронні катоди (коли причиною емісії електронів є розігрів катода), фотокатоди (коли електрони вибиваються з катода фотонами) та холодні катоди (коли електрони вивираються з поверхні зовнішнім електричним полем).

У перших радіолампах застосовували чисті вольфрамові чи вкриті плівкою торію катоди. Значно ефективнішими виявилися так звані оксидні катоди, виготовлені з металу, на поверхню якого нанесений шар оксидів барію, стронцію та кальцію. Ще 1936 року Н. Моргуліс висловив ідею про напівпровідникову природу оксидного катода. Він першим звернув увагу на те, що оксидний шар, який вкриває поверхню катода, є напівпровідником. Відповідно емісійна здатність оксидних катодів визначається саме напівпровідниковими властивостями оксидних шарів. Ця ідея була розвинена в подальших працях Наума Давидовича та його учнів, здобула експериментальне й теоретичне обґрунтування. Вона відіграла вирішальну роль у дослідженні фізико-хімічних процесів, що відбуваються в ефективних емітерах електронів. У результаті вдалося радикально вдосконалити технологію виготовлення оксидних катодів і подовжити термін їхнього життя.

Розвиваючи уявлення про напівпровідникову природу електронних емітерів, Н. Моргуліс на початку 1950-х років сформулював ідею про вплив особливостей зонної структури напівпровідників на їхні емісійні властивості, а згодом створив теорію автоелектронної емісії (випускання електронів під дією сильного зовнішнього електричного поля) для напівпровідників.

### Надвисокий вакуум та дослідження поверхневих явищ

Н. Моргуліс та його учні у 1950-х роках виступили ініціаторами впровадження технології надвисокого вакууму (коли тиск залишкових газів не перевищує  $10^{-6}$  мм рт ст) у лабораторну практику



в Радянському Союзі. Так було створено передумови до вивчення фізичних явищ на поверхні твердих тіл у чистих умовах.

Одне з таких явищ, що відбувається на межі газу та твердого тіла – це адсорбція, тобто налипання атомів або молекул газу на поверхню твердого тіла. Для вивчення адсорбційних явищ треба, щоб поверхня була чистою, не забрудненою іншими атомами. Саме для цього експерименти потрібно проводити в умовах надвисокого вакууму.

Дослідження, які виконав Н. Моргуліс з колегами, дали змогу з'ясувати природу багатьох адсорбційних процесів, що відбуваються на поверхні, і вплив різних чинників на структуру моносарових (тобто складених лише з одного шару атомів) адсорбованих плівок. Зокрема, в результаті цих досліджень була вдосконалена так звані *L*-катоди, які застосовують у потужних електронних приладах і є вольфрамовою підкладкою, яка вкрита шаром адсорбованих атомів барію.

#### *Термоелектронні перетворювачі енергії*

У 1930-х роках в Інституті фізики Н. Моргуліс розпочав дослідження з вивчення адсорбції атомів цезію на розжареній поверхні вольфраму, яка супроводжується йонізацією цих атомів, тобто перетворенням атомів на йони та їхнім наступним вильотом у вакуум. У зв'язку з дослідженням фізичних процесів у діоді з вольфрамовим термокатодом у присутності парів цезію Наум Давидович повернувся до вивчення поверхневої йонізації і показав, що подібний діод можна використовувати як ефективне джерело електричної енергії. Ці дослідження, які він продовжив у Київському університеті в 1960-х роках, започаткували новий перспективний напрям у енергетиці – термоемісійне перетворення енергії.

Термоемісійне перетворення енергії засноване на тому, що у вакуумному діоді з розжареного катода внаслідок термоелектронної емісії навіть за відсутності прикладеної напруги між електродами протікає струм, тобто відбувається пряме перетворення теплової енергії в електричну. Якщо діод заповнити плазмою, ефективність такого перетворення помітно зростає.

Ідея термоемісійного перетворення енергії, яку запропонував Н. Моргуліс, стимулювала багато

робіт у різних дослідницьких центрах, спрямованих на її практичну реалізацію.

#### *Фоторезонансна плазма*

Н. Моргуліс і його учні Ю. Корчовий (нині академік НАН України) та А. Пржонський відкрили й дослідили новий тип плазми – фоторезонансну плазму. У ній йонізація здійснюється в результаті опромінювання парів цезію резонансними фотонами, енергії яких точно дорівнюють енергії збудження атомів. Поглинаючи резонансний фотон, атом переходить у збуджений стан, а взаємодія двох збуджених атомів між собою приводить до йонізації. Пріоритет Н. Моргуліса та його колег на це відкриття було закріплено дипломом, який вони одержали 1998 року.

За своїми параметрами фоторезонансна плазма суттєво відрізняється від звичайної газорозрядної плазми. У газорозрядну плазму енергія вноситься дією зовнішніх електричних полів, тобто шляхом деякого силового впливу, який виводить плазму зі стану рівноваги. У фоторезонансну плазму енергія вноситься шляхом безпосередньої дії фотонів на атоми, а плазма як ціле залишається спокійною.

Згодом, коли було запропоновано використовувати лазери зі змінюваною частотою як джерела резонансних фотонів, фоторезонансна плазма знайшла широке застосування в техніці (попередня йонізація газу в потужних молекулярних лазерах, створення плазмових каналів для транспортування йонних пучків тощо).

#### **Наукова школа**

Початок наукової роботи Н. Моргуліса припадає на кінець 1920 – початок 1930-х років. Це був час становлення серйозних досліджень з фізики в Україні, де в дореволюційні роки не існувало жодної школи з цієї галузі науки.

Сам Наум Давидович вважав себе науковим послідовником академіка А.Ф. Йоффе. До останніх років життя він зберіг звичку регулярно їздити у відраження до Ленінграда (нині Санкт-Петербург), де спілкувався спершу із самим Абрамом Федоровичем, а згодом – з його учнями. Використовуючи зв'язки зі школою А. Йоффе, він ще





### Педагогічна діяльність

на початку 1930-х років зумів закласти основу нового наукового напрямку, з якого згодом виросла інша потужна наукова школа – київська школа фізичної електроніки. Їх організували Наум Давидович паралельно в Інституті фізики та Київському університеті. Ця наукова спільнота, з якої вийшло три академіки та три члени-кореспонденти Національної Академії наук України, багато лавреатів Державних премій України та СРСР у галузі науки і техніки, майже 40 докторів наук та професорів, функціонує й нині. Науковці, що належать до неї, працюють не лише в Інституті фізики та Київському університеті імені Т. Г. Шевченка, а й в інших наукових установах Академії наук – Інституті ядерних досліджень, Інституті вугільних енерготехнологій, Інституті електрозварювання, Інституті газу.

Як стверджують фахівці з наукознавства, за весь час проведення в Україні досліджень з фізики тут сформувалося лише дванадцять великих шкіл із цієї науки. Тому заслуги Н. Моргуліса як організатора однієї з них є вельми вагомими.

Особливістю роботи Н. Моргуліса з учнями й співпрацівниками було те, що він не визнавав дріб'язкової опіки, а давав лише загальні настанови, всіляко заохочуючи підлеглих до самостійної роботи. Завдяки цьому його учні й вихованці швидко ставали самостійними дослідниками, здатними ставити та розв'язувати складні наукові завдання.

Н. Моргуліс був засновником і багаторічним керівником київського міського семінару з фізики плазми, який був відомим і користувався високим авторитетом далеко за межами нашого міста. Він ініціював та організував низку наукових конференцій і симпозіумів, зокрема, всесоюзні конференції з фізики низькотемпературної плазми. Був членом редколегій кількох наукових журналів, зокрема, „Українського фізичного журналу”, членом багатьох наукових рад АН СРСР та АН України.

Надзвичайно важливою та плідною частиною діяльності Н. Моргуліса була його педагогічна робота. Його лекції завжди були на рівні тогочасної науки і техніки, викладання – простим і зрозумілим, логіка – бездоганною, приклади – наочними та яскравими. Усі, хто слухав його лекції, назавжди запам'ятали їх. Наум Давидович був не тільки чудовим лектором, а й видатним педагогом і методистом. Його методика полягала в супроводженні лекційного курсу консультаціями, на яких не тільки пояснювали викладений матеріал, а й перевіряли знання та розуміння його студентами. Від студентів, що претендували на високі оцінки, він вимагав самостійного опрацювання найновішої наукової літератури.

Н. Моргуліс був і талановитим організатором науки та освіти. Як уже згадувалося, він організував у Київському університеті спочатку спеціалізацію „Електрофізика”, а згодом і кафедру фізичної електроніки. Через спеціалізацію та кафедру, якими керував Н. Моргуліс, пройшли сотні студентів, які згодом стали висококваліфікованими фахівцями наукових та промислових установ. Частина з них створила кадровий кістяк уже згаданої київської школи фізичної електроніки.

Саме на базі кафедри, яку очолював Н. Моргуліс, і за його активної участі в Київському університеті 1952 року було створено новий факультет – радіофізичний, який сьогодні є провідним в Україні в галузі підготовки фахівців із радіофізики та електроніки. Випускники цього факультету активно працюють у науці і в Україні, і за кордоном. Саме Наум Давидович заклав основи того стилю викладання, який панує на радіофізичному факультеті досі. Четверо учнів Наума Моргуліса були завідувачами кафедр цього факультету.

Наум Давидович Моргуліс був не тільки визначним науковцем, а й людиною високих моральних принципів, вимогливою до себе і до інших. Для нього найвищим покликанням була його професійна діяльність ученого й викладача. Наум Давидович залишив глибокий слід у науці та вдячну пам'ять у серцях кількох поколінь своїх учнів.



## *З історії досліджень керованого термоядерного синтезу\**

Понад півстоліття тому інтелектуальні змагання, спрямовані на оволодіння енергією керованого термоядерного синтезу, охопили відразу кілька країн – СРСР, США та Англію. Головним результатом тих наукових потуг мав стати передусім новий вид зброї. Батьком радянської водневої бомби справедливо вважають А. Сахарова. У першій шерензі її творців стоять також імена І. Курчатова, І. Тамма, Ю. Харитонова, Я. Зельдовича, К. Щолкіна, Є. Забабахіна, В. Гінзбурга. Однак після розсекречування деяких матеріалів стало зрозумілим, що до цих подій була причетна ще одна дійова особа – Олег Олександрович Лаврентьєв. Він зовсім несподівано вписався у драматургію наукового пошуку, хоча був тоді лише молодшим сержантом Червоної Армії. Нині він – працівник Інституту фізики плазми Харківського фізико-технічного інституту.

Початок термоядерних досліджень у світі припав на середину ХХ ст. Країни-супротивники вели їх, майже не приховуючи своєї головної мети – створити суперзброю масового знищення. Надзвичайна жвавість, з якою відбувалася організація потрібних робіт, пояснювалася прагненням держав кардинально змінити на свою користь ситуацію у світі. Однак йшлося не лише про виробництво ядерних матеріалів для зброї. Проблема створення термоядерного реактора (а отже, продукування електроенергії з використанням невичерпного та екологічного джерела реакцій синтезу) стояла також доволі гостро.

В історії фізики початковим періодом досліджень керованого термоядерного синтезу (КТС) вважають 1951–1975-ті роки. У колишньому Радянському Союзі цей період ознаменований діяльністю плеяди вчених, яких очолював Л. Арцимович, перший керівник державної програми дос-

ліджень з КТС. Тоді ці роботи були строго засекречені, навіть після їхньої переорієнтації з військових на мирні цілі. І в „закритих” звітах деякий час вдавалися до шифрування: словом „гуща” позначали плазму, слово „висота” означало температуру, а „струміль” – магнетне поле. Отож, дивна фраза „висока висота гущі у струмені” означала: „високотемпературна плазма в магнетному полі”.

Водночас жадібно ловили кожне слово інформації про хід подібної роботи в інших країнах – США та Англії. Утім кожна з трьох згаданих країн-учасниць гонки, проводячи дослідження з КТС на основі замкнутих тороїдальних систем, відкрила окремий напрям магнетного утримання плазми. Експерименти з тороїдальними газовими розрядами у Великій Британії проводили на тороїдальних пінчах з перетвореним тороїдальним магнетним полем. У Принстонській лабораторії плазми (США) народився фундаментальний науковий напрям стаціонарних стелараторних чи гвинтових систем магнетного утримання плазми. (Ці системи затрималися у своєму розвитку через складність і невдалі експерименти початкового періоду їхньої історії, однак тепер вони набули другого дихання). У СРСР була розроблена система токамаків, що посіла провідне місце у світовій програмі досліджень з КТС.

До Другої женецької конференції з мирного використання атомної енергії 1958 року факт проведення досліджень з КТС офіційно не визнавала жодна з країн, які їх здійснювали. Однак вони йшли повним ходом, причому початок державних програм робіт з КТС у Радянському Союзі та США майже збігається – це весна 1951 року.

Історія згаданих досліджень в СРСР, до якого входила й Україна, сповнена парадоксів, несподіваних поворотів долі та справжнього драматизму. І, мабуть, одним з найдивовижніших фактів тієї історії стала участь у виконаній грандіозній роботі людини, не причетної тоді до великої науки, – молодшого сержанта Олега Лаврентьєва.

\*За матеріалами статті Шевченко Л. Тема колосального значення... З історії досліджень керованого термоядерного синтезу// Вісник НАН України. – 2003. – № 10. – С. 31–35.



*Олег Александрович Лаврентьев (Харків, 1980)*

Народився Олег Александрович Лаврентьев у Пскові 7 липня 1926 року. Вже у сьомому класі середньої школи він зацікавився ядерною фізикою: з наукових посібників дізнався про уранову проблему, можливість здійснення ланцюгової реакції на ізотопах  $^{235}\text{U}$  та  $^{238}\text{U}$ .

Однак почалася війна. Вісімнадцятирічний Олег Лаврентьев добровольцем пішов на фронт. Брав участь у багатьох боях, був нагороджений двома медалями. Після війни його перевели до Сахалінського військового округу. Молодший сержант О. Лаврентьев отримав змогу повернутися до своїх довоєнних зацікавлень. Він передплачував журнал „Успехи физических наук”, читав різні наукові й навчальні посібники, вивчав механіку, молекулярну фізику, електрику та магнетизм і, звісно, ядерну фізику. Часто робив доповіді про новинки військової техніки для офіцерів. Якось узимку 1948-го року, готуючи лекцію з атомної тематики, він зрозумів, що має власне бачення деяких конкретних фізичних проблем. Тоді вперше в нього з'явилася думка про можливість використання термоядерного синтезу у промисловості. А коли 1950 року президент США Г. Трумен у виступі перед Конгресом закликав своїх учених прискорити роботу зі створення

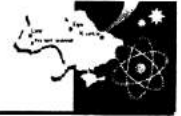
атомної бомби, О. Лаврентьев уже був переконаний, що винайшов власний варіант такої бомби.

Перший його короткий лист з описом ідеї здійснення керованого синтезу дейтерієвих ядер за допомогою електростатичного поля, адресований Сталінові, мабуть, загубився у шквалі вітань з нагоди 70-річчя вождя. Другого листа О. Лаврентьев адресує ЦК ВКП(б). У ньому він пропонує створити водневу бомбу з використанням атомної. До того ж він висуває ідею утримувати ядра дейтерію за допомогою двох (чи трьох) металевих сіток з негативним і позитивним потенціалами. На сітки, що оточують реакторний об'єм, мала подаватися різниця потенціалів у кілька десятків кВ, щоб затримувався виліт йонів дейтерію чи, якщо сіток три – в одному із зазорів затримувався виліт йонів, а в іншому – електронів.

Лист передали на розгляд А. Сахарову. У своєму відгуку учений констатував, що „автор порушує важливу і небезнадійну проблему”. Водночас рецензент наголосив на складності термоізоляції газу за допомогою електростатичного поля, яке мало утримувати ядра в зоні реакції: прямий контакт плазми із сітками неминуче призведе до величезного відведення тепла, а отже, унеможливить досягнення температури, потрібної для перебігу термоядерних реакцій. Учений також зауважив, що, незалежно від результатів подальшого обговорення „треба вже тепер відзначити ініціативу автора”. Тоді ж у А. Сахарова, за його словами, виникли перші думки щодо можливості замість електростатичного, про яке йшлося в роботі, застосувати магнетне поле як ефективний засіб розв'язання проблеми контакту гарячої плазми зі стінками. Значну наукову цінність мала також думка О. Лаврентьева про те, що термоядерна реакція має відбуватися в газі високої температури (мільярди градусів) і за такої низької густини, щоб матеріали могли витримати утворений тиск.

Реакція на другий лист О. Лаврентьева не забарилася: із Москви зателефонували до Сахалінського обкому партії, і молодому дослідникові одразу надали окрему кімнату у військовій частині, він одержав змогу написати першу роботу з термоядерного синтезу, яка містила дві ідеї: принципи дії літєво-водневої бомби та пропозицію щодо принципу функціонування термоядерного реактора для промислових цілей.





Молодий дослідник 1950 року достроково демобілізувався за власним бажанням і поїхав до Москви, щоб вступити до Московського державного університету. Це йому вдалося без будь-якої допомоги. Восени того ж року він зустрівся із завідувачем відділу важкого машинобудування ЦК ВКП(б) І. Сербініним, на прохання якого письмово виклав свої міркування з приводу термоядерного синтезу.

За кілька місяців у студентський гуртожиток, де мешкав тоді Олег, зателефонували „згори”. Відбулася коротка розмова з міністром вимірального приладобудування В. Махньовим, який до того ж був секретарем Спеціального комітету, який очолював Л. Берія. Лаврентьєва запросили негайно приїхати до Кремля. У бюро перепусток біля Спаських воріт, крім нього, був ще один „відвідувач”. Їх пропустили разом. Махньов вийшов з кабінету і відрекомендував їх. З’ясувалось, що незнайомиць – це А. Сахаров. Невдовзі О. Лаврентьєв уже знав, що вчений добре знайомий з його першою працею. Коли вони разом вийшли з Кремля, згадає Олег Олександрович, Сахаров сказав, що „тепер буде все добре, працюватимемо разом”.

І справді, незабаром молодий дослідник мав змогу відчути себе улюбленцем долі: йому підвищили стипендію, виділили умебльовану кімнату майже в центрі Москви, організували доставку потрібної літератури, додатково призначили викладачів. З одним із них, математиком О. Самарським, у Лаврентьєва склалися добрі стосунки. Пригадуючи ті далекі дні, Олег Олександрович зазначає, що завдячує викладачеві не лише конкретними знаннями в галузі математичної фізики, а й методологічною базою, вмінням чітко формулювати завдання.

Саме з О. Самарським він здійснив розрахунки магнетних сіток, розв’язав диференціальні рівняння, що дали змогу визначити ту величину струму у вітках сітки, за якої вона захищалася полем цього струмі від бомбардування високоенергетичними частинками плазми. Ця робота завершилася у березні 1951 року, вона ж поклала початок ідеї електромагнетних пасток.

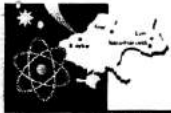
За кілька місяців О. Лаврентьєв дізнався про концепцію А. Сахарова та І. Тамма щодо термоізоляції високоемпературної плазми магнетним полем. Тоді він вирішив, що вона з’явилась не-

залежно від ідей, які він виклав 1950 року. Однак потім дізнався від самого А. Сахарова, що поштовхом стала саме його, Олега Олександровича, робота, яку рецензував науковець. Концепція А. Сахарова та І. Тамма дала їм змогу невдовзі розраховувати перші моделі магнетного термоядерного реактора тороїдальної форми.

Отже, лист молодшого сержанта О. Лаврентьєва з далекого Сахаліну став каталізатором подій, прискоривши народження радянської програми досліджень із КТС. Згодом у своїх „Спогадах” (Права человека. – М., 1996) А. Сахаров ще раз написав, що цей „автор порушив тему колосального значення, це свідчить про те, що він є дуже ініціативною і творчою людиною, яка заслуговує на всіляку підтримку і допомогу”.

Серед розробок О. Лаврентьєва були також схеми конструкції літєво-водневої бомби, бомби так званого імплзівного типу. Звичайно, сьогодні ці схеми рівня 50-х років не є секретними. Існує чимало публікацій про них з їхнім докладним описом. Проте безперечно одне: ще на Сахаліні О. Лаврентьєв сформулював низку перспективних фізичних ідей – незалежно від інших дослідників і доволі далекосяжні. Деякі з них і досі застосовують до виготовлення багатьох боєприпасів у вітчизняних ядерних арсеналах. Зокрема це стосується використання твердої хемічної сполуки  ${}^9\text{LiD}$  як основного пального у водневих бомбах, хоча пріоритет у цьому питанні належить В. Гінзбургіві (1949). До речі, американці прийшли до цієї ідеї значно пізніше. Їхні перші випробування відбулися 1954 року.

Створивши концепцію термоізоляції високоемпературної плазми магнетним полем, А. Сахаров та І. Тамм розраховували перші моделі магнетного термоядерного реактора тороїдальної форми (майбутні „токамаки”). У розробленні ідеї брала участь група теоретиків ФІАНу. Про результати доповіли І. Курчатову, який гаряче підтримував цей напрям досліджень. Незабаром з’явилася державна програма науково-дослідних робіт з термоядерної тематики. Судячи з наявних даних, вона була першою у світі. У 1955 році було створено першу токамакоподібну установку ТМП. Однак локальне перегрівання стінки з низькою теплопровідністю стало причиною значного розпорошення, забруднення плазми, сильного ультра-



фіолетового випромінювання. Як наслідок – низька (10–30 еВ) температура плазми.

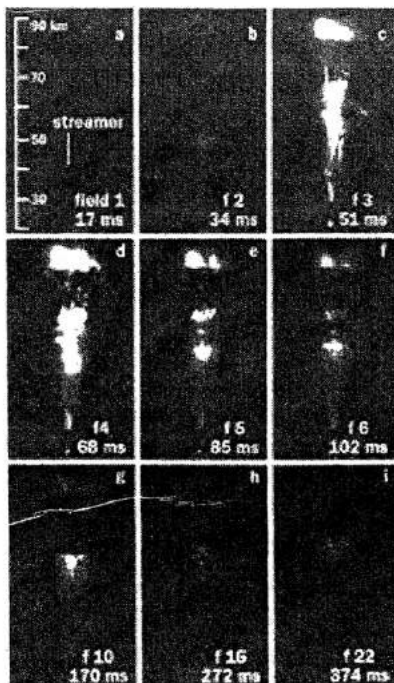
Загалом перші два десятиріччя в історії досліджень з КТС принесли чимало розчарувань. І лише починаючи від 70-х років, коли напрям „токамак” стає міжнародним, сумніви в можливості керувати термоядерною реакцією розвіюються. Дослідження з КТС зробили вагомий внесок у розв’язання фундаментальних наукових проблем, до яких належать нелінійні явища у неперервних середовищах, процеси стохастизації та виникнення структур (самоорганізація) тощо. Так було стимульовано розвиток вакуумної технології великих обсягів, технології надпровідних магнетних систем, створення потужних мікрохвильових генераторів.

А як же склалася доля людини, чиї ідеї дали поштовх деяким важливим дослідженням у цій галузі?

Закінчивши Московський державний університет О. Лаврентьев, за рекомендацією Л. Арцимовича, працював у Харківському фізико-технічному інституті, де на той час сформувався потужний осередок талановитих учених-фізиків. Він продовжив експериментувати з електростатичним відбиванням електронів. У 1981–1985 роках на сконструйованій тороїдальній пастці АТОЛЛ („Антипробочная тороидальная ловушка Лаврентьева”) під керівництвом М. Йоффе він зміг докладно вивчати процеси у плазмі такої пастки. За результатами досліджень, завдяки яким було зроблено кілька десятків винаходів, О. Лаврентьев опублікував понад 100 наукових праць. Сьогодні науковець плідно працює в Інституті фізики плазми ХФТІ.

Л. Шевченко

## Виявлено новий тип блискавки



Тайванські науковці виявили новий вид електричного розряду в атмосфері. Їм вдалось сфотографувати гігантські спалахи між грозовими хмарами і іоносферою.

Можливе існування могутніх електричних розрядів над грозовими хмарами обговорювали вже дуже давно, але донедавна ці розряди не вдавалось виявити. Добре відомо, що різниця потенціалів між поверхнею Землі та іоносферою – верхнім зарядженим шаром атмосфери, досягає декілька сотень кіловольт. Також відомо, що в гарну погоду електричний заряд переноситься згори донизу, а в грозу навпаки, знизу догори.

Під час грози в липні 2002 року над Південно-Китайським морем Хан-Зонг Су і Рю-Рон Тсу із Національного Університету Тайваня Чен Кун з колегами встановили високошвидкісні чутливі камери на південній частині острова Тайвань. Їм вдалося зареєструвати п’ять гігантських спалахів над грозовими хмарами (одна з них на світлині). Спалахи тягнулись від грозових хмар на висоті 16 кілометрів до іоносфери, яка знаходиться на висоті 90 кілометрів. Оптичні спалахи супроводжувались випромінюванням низько-частотних радіохвиль. Такі радіохвилі супроводжують звичайні

блискавки і свідчать про те, що переноситься велика кількість заряду.

Тайванські науковці планують продовжити дослідження електричних зарядів у верхніх шарах атмосфери за допомогою спеціального обладнання, встановленого на супутнику ROCSAT-2.

[www.scinews.ru/physics](http://www.scinews.ru/physics)



До 135-річчя від дня народження  
Ч. Т. Р. Вільсона

## Ч–Т–Р – автор конденсаційної камери

*„Важко знайти щось подібне, вона є прикладом винахідливості, проникності, нескінченного терпіння і цілеспрямованості, вміння працювати руками”*

Дж. Дж. Томсон  
про йонізаційну камеру Вільсона

**Ш**отландський фізик Чарльз Томсон Рес Вільсон (Charles Thomson Rees Wilson) народився 14 лютого 1869 року недалеко від Гленкорсу, у сім'ї фермера Джона Вільсона та Енні Кларк. Вільсон, більшу частину свого життя відомий як Ч-Т-Р, був наймолодшим із восьми дітей, яких мав батько від двох шлюбів. Хлопчиків було чотири роки, коли помер його батько і сім'я переїхала до англійського міста Манчестера, де їм матеріально допомагали родичі.

Навчаючись у Грінхейській академічній школі в Манчестері, Вільсон зацікавився природничими науками. Після закінчення школи 1884 року він, за підтримки свого звідного брата Вільяма, вступив до Оуенс-коледжу (нині Манчестерський університет). Там він навчався три роки й 1887 року здобув ступінь бакалавра, але залишився у коледжі ще на рік для вивчення філософії, латини і грецької мови. Вступаючи до Оуенс-коледжу, Вільсон хотів вивчати медицину, однак там переконався, що його покликання – фізика.

Згодом, 1888 року, Ч. Вільсон вступив до Сідней-Сасекс-коледжу у Кембриджі, щоб вивчати фізику. Здобувши науковий ступінь (1892), Вільсон залишився у Кембриджі, щоб проводити наукові дослідження. Однак помер його брат Вільям, сім'я залишилась без матеріальної підтримки. Ч. Вільсон змушений був залишити Кембридж. Із 1894 року він працював учителем у Бредфордській середній школі. За деякий час він зрозумів, що йому варто повернутися до Кембриджу, щоб продовжувати дослідження. Заробляючи на життя, він працював лаборантом зі студентами-медиками, і експериментував у Кавендишській лабораторії.



Чарльз Томсон Рес Вільсон  
(14.02.1869–15.11.1959)

Піднявшись на Бен-Невіс (гірську вершину в Шотландії) 1894 року, Вільсон був вражений кільцями навколо Сонця, які утворюються, коли Сонце світить крізь хмари і туман. Це оптичне явище наштовхнуло його на відтворення цього явища в лабораторних умовах за допомогою приладу (камера розширення), яку він використав для створення туману і дощу. „Майже відразу, – згадував він згодом, – я натрапив на щось таке, що було цікавішим від оптичних феноменів, які я хотів вивчити”.

Було відомо, що водяна пара в повітрі конденсується навколо твердих частинок (центрів конденсації), вважали, що хмари не можуть утворюватися в атмосфері, вільній від пилу. Однак Вільсон з'ясував, що якщо очистити камеру від пилу, то туман і дощ все одно утворюватимуться, якщо концентрація водяної пари в повітрі достатньо висока. Це відкриття привело Вільсона до здогад-





ки, що водяні краплі утворюються, конденсуючись навколо йонів (заряджених атомів чи молекул).

Дізнавшись про відкриті В. Рентгеном наприкінці 1895 року X-промені та їхні властивості, Вільсон застосував їх для йонізації повітря у своїй камері. Густий туман, утворений під час цього, підтвердив не лише його теорію конденсації, а й існування атомів, молекул і йонів. За час своїх досліджень Вільсон істотно вдосконалив конструкцію своєї камери, яка відома нині як конденсаційна (йонізаційна) камера.

Улітку 1895 року Ч. Вільсон знову побував у шотландських горах, де гроза викликала у нього зацікавлення до електричного поля Землі. А 1896 року його нагородили стипендією Максвелла в Кавендишській лабораторії, наступні три роки науковець вивчав йонну конденсацію й атмосферну електрику. Завдяки скрупульозним експериментальним дослідженням йому вдалось одержати важливу інформацію про поведінку йонів у газах і їхній вплив на атмосферу. Ч. Вільсона 1900 року обрали членом ради Сідней-Сасекс-коледжу і запросили на посаду лектора. Водночас науковець продовжував свої дослідження у Кавендишській лабораторії, експериментуючи з конденсаційною камерою. Згодом він ще більше зацікавився вивченням атмосферної електрики, створив нову конструкцію електрометра (у 100 разів чутливіший від тих, що були тоді), і за допомогою нього провів вимірювання електричного поля в атмосфері Землі.

Однак 1910 року Ч. Вільсон повернувся до досліджень з конденсації, намагаючись застосувати конденсаційну камеру для реєстрації атомних частинок, оскільки альфа-частинки (ядра атома гелію) і бета-частинки (електрони) йонізують молекули газу. Науковець зрозумів, що водяна пара, яка конденсується навколо йонізованих молекул, має утворювати сліди, які можна фотографувати. Він 1911 року повідомив, що бачив уперше „сліди хмар”, які сконденсувались уздовж треків альфа- і бета-частинок. Фотографії треків, які він зробив, справили велике враження на науковців. Вони стали наочним свідченням частинок, чие існування до того часу було встановлено лише побічно, причому за виглядом треків частинки можна було відрізнити одну від іншої.

Ч. Вільсон 1912 року створив прилад для спостереження і фотографування слідів (треків) заряд-

жених частинок, яку називають камерою Вільсона. Ця камера стала одним з інструментів ядерної фізики. В ній енергія, яка накопичена у метастабільному стані, використовується для візуалізації ядерних випромінювань. Принципова схема камери Вільсона зображена на рисунку. В ізолюваному робочому об'ємі 1 містяться пари води і спирту в ненасиченому, але близькому до насичення стані. Різкий рух діаграми 6, яку тягне поршень 4, приводить до швидкого адіабатичного розширення цих парів в об'ємі 1. Досягається стан пересичення пари, що зазвичай лежить в межах від 1,25 до 1,37.

Під час руху частинки крізь середовище з перенасиченою парою (об'єм 1) вздовж її траєкторії виникають крапельки туману, які можна сфотографувати. Далі камера Вільсона повертається у початковий стан. Недоліком камери Вільсона було те, що багато часу затрачалося на підготовку до реєстрації. Переважно за хвилину можна було здійснити до шести циклів. Наприклад, англійському дослідникові П. Блекетту довелося зро-

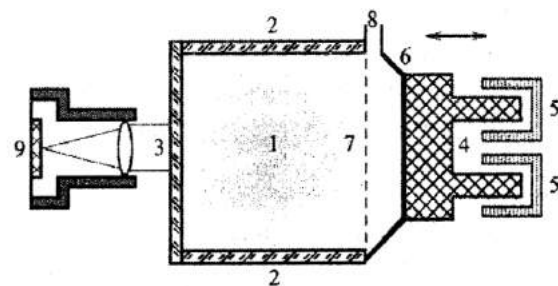


Рис. Схема камери Вільсона:

1 – ізолюваний робочий об'єм; 2 – скляний циліндр; 3 – скляне вікно, крізь яке фотографують; 4 – рухомий поршень; 5 – регулятор ходу поршня; 6 – гумова діафрагма; 7 – дротяна сітка для зменшення турбулентності під час руху діафрагми; 8 – впускний отвір для водно-спиртової суміші (під час роботи він закритий); 9 – фотоапарат

бити майже мільйон фотографій слідів  $\alpha$ -частинок в азоті, щоб зафіксувати лише 20 випадків захоплення  $\alpha$ -частинки атомом азоту з наступним випусканням протона.

Другим недоліком камери Вільсона є те, що у неї невеликий об'єм робочої камери (її діаметр, переважно, становив декілька десятків сантимет-



рів). Це не дає змогу досить повно дослідити треки частинок з високою енергією. Щоб уникнути цього недоліку треба було використовувати густішу робочу речовину, в якій довжина пробігу частинок значно зменшується.

З'явилися тисячі удосконалень камери Вільсона. Та майже півсторіччя нікому не спало на думку створити „антикамеру”, у якій сліди утворювалися б із бульбашок газу в рідині. Це зробив Доналд Артур Глазер, якого лише 1960 року нагородили Нобелівською премією з фізики „за відкриття бульбашкової камери”. Тому було розроблено бульбашкові камери, у яких для візуалізації треків частинок використовують внутрішню енергію, накопичену в перегрітій рідині, яка вивільняється під час польоту частинки. Рідина перебуває в метастабільному стані, і, під час потрапляння в таку рідину зарядженої частинки вздовж її траєкторії, утворюється слід, що складається з великої кількості бульбашок пари.

Принципова схема бульбашкової камери подібна до схеми камери Вільсона. Метастабільний стан (перегріта рідина) утворюється і в камері Вільсона шляхом різкого зниження тиску. Для того, щоб можна було сфотографувати треки, рідина мала бути прозорою. Як робоче тіло в бульбашкових камерах використовують рідкий водень, пропан і ксенон високої очистки. Частота циклів бульбашкової камери досягає десятків за хвилину.

Ч. Вільсона 1913 року призначили спостерігачем з метеорологічної фізики в обсерваторії фізики Сонця в Кембриджі, де він працював до 1918 року, продовжуючи дослідження зі своєю камерою і вивчаючи атмосферну електрику. Під час Першої світової війни він працював над проблемою захисту літаків від електричних розрядів.

Дж. Дж. Томсон писав про йонізаційну камеру Вільсона так: „Важко знайти щось подібне, вона є прикладом винахідливості, проникності, нескінченного терпіння і цілеспрямованості, вміння працювати руками”. Його дослідження стали підґрунтям, на якому розвивались подальші дослідження П. Блекетта, П. Капиці, В. Боте, І. Жоліо-Кюрі та інших. Позитрон й інші елементарні частинки були відкриті за допомогою йонізаційної камери Вільсона. Він далі працював з камерою до 1923 року й опублікував результати своїх досліджень у двох останніх працях. В одній з них

було експериментально підтверджено те, що під час взаємодії рентгенівських променів з атомами вибиваються електрони, – явище, яке раніше передбачив А. Комптон.

Від 1923 року Вільсон зосередив свою увагу на вивченні атмосферних явищ, конструював прилади, які давали змогу вимірювати електричний заряд, що переносить блискавка, та інші характеристики грозових розрядів. Уявлення Вільсона про походження електричних полів в атмосфері, їхня поведінка під час грози стали новаторським внеском у розуміння цих явищ. А 1925 року він став професором натурфілософії у Кембриджі й працював на цій посаді до 1934 року.

Чарльза Вільсона нагородили Нобелівською премією з фізики 1927 року „за метод візуального спостереження траєкторії електрично заряджених частинок за допомогою конденсації пари”. Другу половину Нобелівської премії з фізики того ж року отримав Артур Голлі Комптон „за відкриття явища, названого його іменем”.

Залишивши свої посади 1934 року (йому було 65 років) у Кембриджі, Ч. Вільсон повернувся до Шотландії. Коли науковцеві було вісімдесят років він ще здійснював піші прогулянки в гори. У 86-річному віці Вільсон уперше піднявся у повітря і був у захопленні, спостерігаючи грозу з літака. Свою останню працю, присвячену грозовим розрядам, дослідник подав Лондонському королівському товариству 1956 року, будучи найстарішим членом цього товариства.

Чарльз Вільсон одружився 1907 року з Джесі Фрейзер Дік, донькою міністра. Вони мали дві доньки і сина. Учений був м'якою, тихою людиною, байдужим до нагород і престижу, але завжди прагнув пізнавати закони природи.

Ч. Вільсона також нагородили медалями Г'юза (1911), Королівською (1922) і Коплі (1935) Лондонського королівського товариства, а також премією Гопкінса Кембриджського філософського товариства (1920), премією Ганнінга Единбурзького королівського товариства (1921) і медаллю Говарда Поттса Франклінського інституту (1925), а 1937 року науковець отримав титул дворянина. Ч. Вільсон мав багато почесних наукових ступенів, був членом Лондонського королівського товариства з 1900 року.

Чарльз Томсон Рес Вільсон помер 15 листопада 1959 року в Карлопсі, поблизу Единбурга.

## НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА СФЕРА УКРАЇНИ. ЗАГАЛЬНОСТАТИСТИЧНІ ДАНІ ТА СПРОБА ПЕРЕДБАЧЕННЯ

Ярослав Яцків,  
академік НАН України

### Замість передмови

За роки незалежності України щораз більше зростає занепокоєння та тривога за долю національної науково-технологічної сфери. Про це багато пишуть та говорять представники влади і науки.

У посланні Президента України до Верховної Ради України „Про внутрішнє і зовнішнє становище України у 2002 році”. (Видання Інформаційно-видавничого центру Держкомстату України. – К., 2003. – 478 с.) зазначено: „Реалізація інноваційної стратегії економічного зростання потребує прискореного розвитку високотехнологічних виробництв, спроможних виробляти наукоємну продукцію з високою доданою вартістю, формування експортного потенціалу цих виробництв, підвищення технологічного рівня підприємств завдяки прогресивним вітчизняним і світовим науково-технічним досягненням”. „Якщо для вирішення цих завдань не буде перепрофільовано економічну політику уряду та Верховної Ради України, втрата науково-технічного потенціалу триватиме. За два-три роки його відновлення стане неможливим. Україну назавжди буде відсунуто поміж другорядні (у технологічному відношенні) країни світу, що, звичайно, серйозно непокоїть громадськість нашої держави”.

Здається все зрозуміло, ліпше не скажеш. Але виникає низка запитань, серед яких шонайважливіше, чому в нас немає державної політики у сфері науки і технологій на довгострокову перспективу?

На це запитання я намагався відповісти ще 2001 року в доповіді на колегії Міністерства освіти і науки „Про підсумки роботи Міністерства освіти і науки в сфері наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності за 2000 рік” (Видання УкрІНТЕІ. – К., 2001. – 40 с.)

На жаль, наступні роки не принесли очікуваних позитивних результатів, про що красномовно сказано у статті Б. Гриньова та В. Гусева „Что

же будет с нашей наукой? (дискуссионная)” (журнал „Проблеми науки”. – К., 2004. – № 1. – С. 2–9): „Якщо всі люблять науку і розуміють її значення, якщо ніхто не піддає сумніву інноваційного вибору країни, якщо, зрештою, у взятій за зразок Європі науково-технічна сфера стала безумовним пріоритетом практичної діяльності, чому ж в Україні майже нічого, крім розмов про користь цієї сфери не відбувається?”

Здається лише 2004 року знову з’явилася надія на певні позитивні зрушення – збільшено фінансування НАН України і, що важливо, зокрема й на зміцнення матеріально-технічної бази її установ. На рівні влади є розуміння потреби підтримувати науково-технологічну сферу, а наукова спільнота розгортає нові дискусії щодо стану та перспектив розвитку науки в Україні. Див. наприклад відповідні веб-сайти газети „Дзеркало тижня” (<http://www.zn.kiev.ua>) чи Українського міжнародного комітету з питань науки і культури при НАН України з матеріалами „Круглого столу” (<http://www.nas.gov.ua/knk>).

### Наука і технологія у світовій системі статистики

Передусім подамо статистичні дані щодо загальносвітового внутрішнього валового продукту за рік (ВВП) та його долі, яка витрачається на розвиток науки і технологій (НТ) порівняно з аналогічними даними для колишнього СРСР (див. табл. 1).

Як видно з табл. 1, витрати на НТ у колишньому СРСР майже вдвічі перевищували середньосвітові показники. Тодішня влада віддавала належне розвитку науки і технології заради збереження свого режиму та мілітаристських амбіцій. Тому радянські вчені, незважаючи на той факт, що ефективність та умови їхньої наукової роботи не відповідали світовим стандартам, отримали наукові результати світового рівня.



**Таблиця 1.** Приблизні дані річного ВВП на душу населення (в доларах США).

Показник	ВВП	Кількість населення	Відношення дол. США на особу
Всього у світі	$25 \cdot 10^{12}$	$6,5 \cdot 10^9$	~4000
в т.ч. на НТ	$45 \cdot 10^{10}$	$6,5 \cdot 10^9$	~70
В СРСР (70-ті роки)	$2 \cdot 10^{12}$	$25 \cdot 10^7$	8000
в т.ч. на НТ	$4 \cdot 10^{10}$	$25 \cdot 10^7$	160

Сучасний стан фінансового забезпечення науки в Росії та в Україні виглядає так: у середньому на одного жителя цих країн припадає витрат на НТ відповідно близько 20 та 10 доларів США, тобто значно менше порівняно з СРСР.

До того ж, в Україні зараз середньорічні витрати з бюджету на душу населення становлять майже 200 доларів США. Ця мізерна сума є свідченням того, що в межах моделі розвитку економіки нашої держави, враховуючи її тіньовий складник, масштабна модернізація національної науково-технологічної сфери майже неможлива. Зачароване коло – для розвитку НТ немає фінансових ресурсів, без науково-технічного розвитку неможлива інноваційна стратегія економічного зростання.

**Еволюція функції науково-технологічної сфери залежно від обсягів фінансування**

Теоретичні дослідження наукознавців та практичний досвід свідчать, що роль науки в суспільстві

залежить від обсягів її фінансового забезпечення (див. рис. 1, який ми взяли із статті: Маліцький Б. А., Булкін І.О., Попович О. С. та Шокун Т. В. „Перспективи приведення фінансування науки у відповідність із законодавством та потребами інноваційної моделі розвитку економіки”. Наука і наукознавство. – 2003. – № 4. – С. 29–40).

Цей рисунок не потребує додаткових коментарів. Зображені на ньому витрати 1,7% ВВП на науково-технологічну сферу, які передбачені Законом України „Про наукову та науково-технічну діяльність”, дали б змогу НТ сфері відігравати вирішальну роль у переході України на інноваційну модель розвитку її економіки.

**Фінансування науково-технологічної сфери України в 1991–2002 рр.**

На жаль, мусимо констатувати, що обсяги фінансування (в % до ВВП) НТ сфери в Україні невинно падають (див. рис. 2).

Враховуючи всі джерела, фінансове забезпечення НТ сфери становить нині майже 1,2% ВВП, що удвічі–тричі менше, ніж у середньому в Європі, США чи Японії. Навіть якщо врахувати відмінності рівня цін у цих країнах (див. рис. 3), то ці „модифіковані” показники не додають оптимізму (для порівняння, тільки Національний науковий фонд США, аналог нашого Державного фонду фундаментальних досліджень, щорічно розподіляє грантів на суму вдвічі більшу від загального обсягу фінансування науки в Україні).

На рис. 4 зображено динаміку змін обсягів фінансування науки за видами робіт.

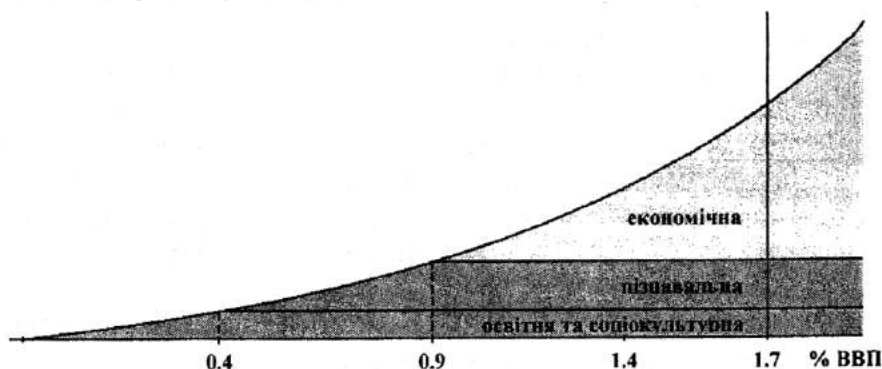


Рис. 1. Зміна функції науково-технологічної сфери залежно від обсягів її фінансування (% ВВП)

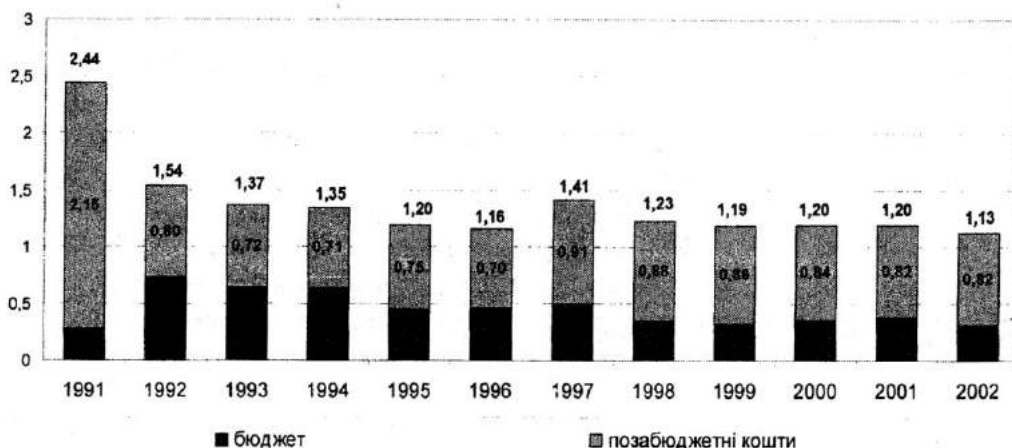


Рис. 2. Загальні обсяги фінансування науково-технічної сфери в 1991–2002 рр. (% ВВП)

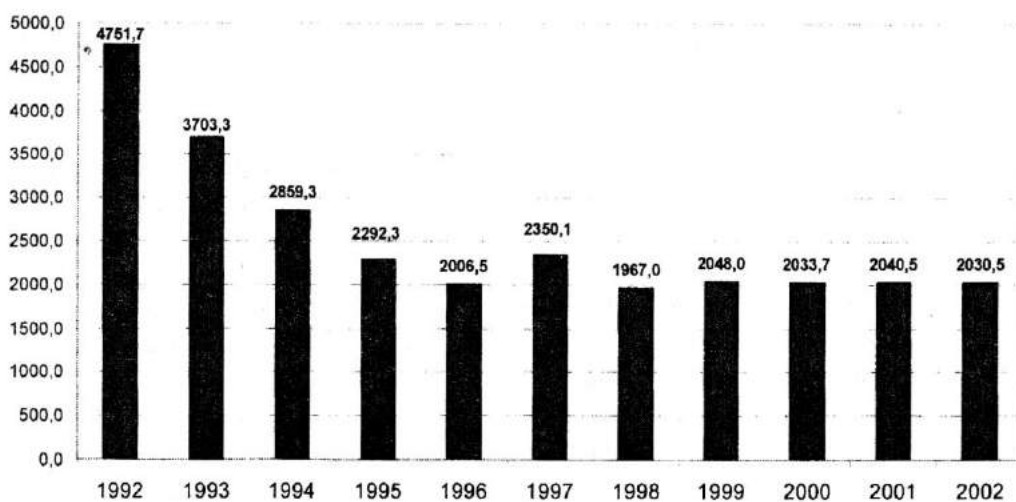


Рис. 3. Загальні обсяги фінансування науково-технічної сфери в 1991–2002 рр. (млн доларів США у цінах паритету купівельної здатності)

### Кадровий потенціал науково-технологічної галузі

На початку нового тисячоліття в Україні науково-технічною діяльністю займалося майже 190 тис працівників у 1,5 тис наукових організаціях. На рис. 5 зображено зміну кадрового потенціалу 2001 року порівняно з 1991 роком у трьох найбільших секторах української науки.

Привертає увагу відносно стала чисельність науковців вищої кваліфікації (загалом у науці та різних галузях економіки нині працює майже 30 тис науковців вищої кваліфікації, майже половина з них – у вищих навчальних закладах). Головною проблемою тут є потреба в оновленні наукових кадрів (найбільша „нестача” науковців існує у віковій групі від 30 до 50 років, оскільки саме

люди цієї вікової групи залишали науку в останнє десятиріччя).

До здобутків останнього десятиріччя можна віднести зростання кількості студентів у вищих навчальних закладах України (рис. 6) та позитивну динаміку змін аспірантів за чисельністю та за науковими напрямками (рис. 7).

Хвилює рівень підготовки студентів та аспірантів у деяких вищих навчальних та наукових закладах України. Це питання потребує докладніше вивчення з урахуванням вимог до атестації науково-педагогічних кадрів.

### Матеріально-технічна база

Останніми роками наукові установи України не в змозі утримувати на належному рівні матеріаль-

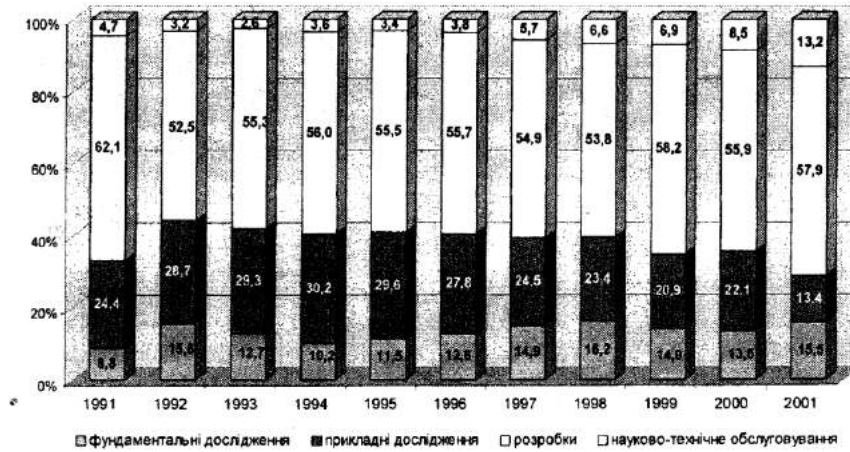


Рис. 4. Загальні обсяги фінансування науково-технічної сфери за видами робіт (%) у 1991–2001 рр.

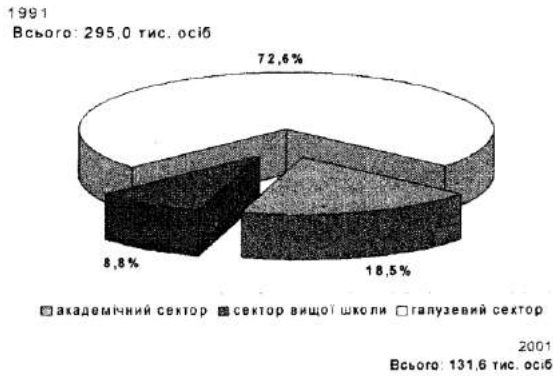


Рис. 5. Розподіл кадрового потенціалу науково-технічної сфери України 1991 та 2001 роках

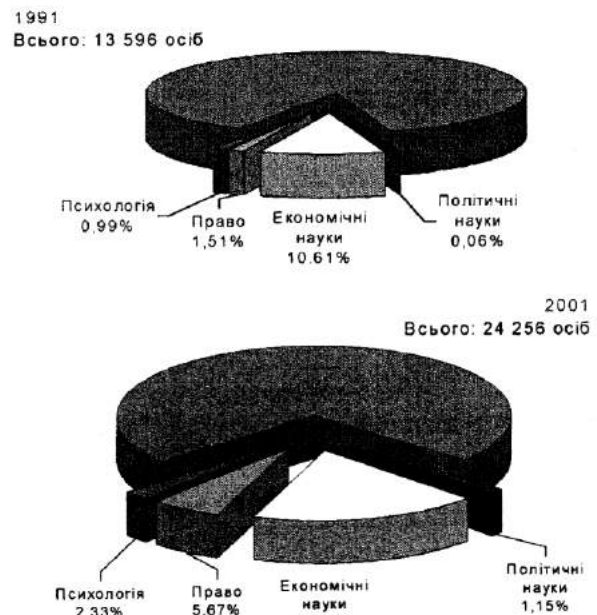


Рис. 7. Розподіл кількості аспірантів за науковими напрямками

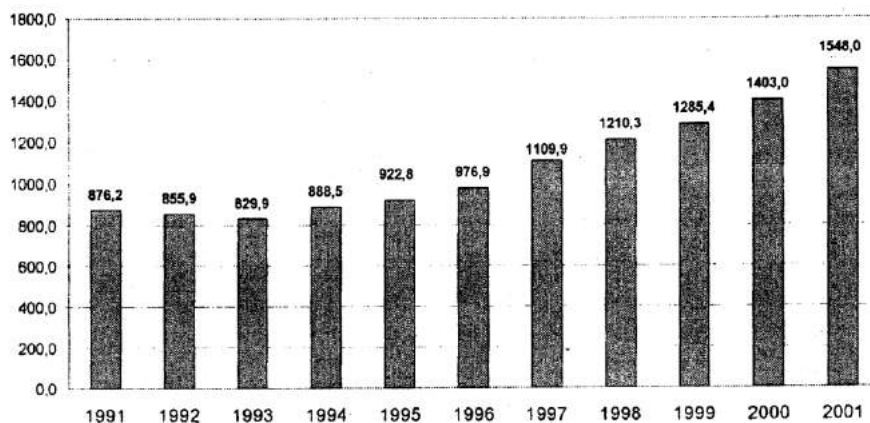


Рис. 6. Динаміка кількості студентів вищих навчальних закладів України в 1991–2001 рр. (тис. осіб)



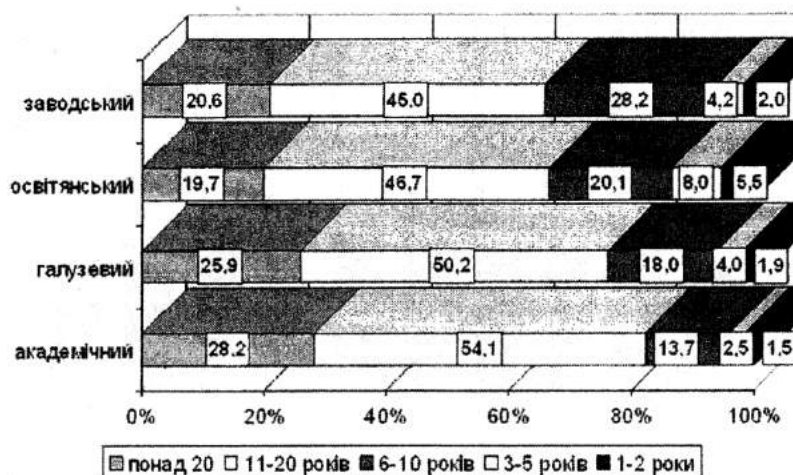


Рис. 8. Розподіл машин та устаткування наукових організацій за терміном експлуатації

но-технічної бази, не говорячи вже про можливість її подальшого розвитку.

За даними Держкомстату, власні будинки та приміщення для здійснення науково-технічної діяльності мали 66% наукових організацій, 30% від вартості основних фондів наукових організацій становили машини та устаткування. Про їхній стан та зношеність можна судити з рис. 8.

Оновлення матеріально-технічної бази науки – це сьогодні одна з найважливіших проблем. Про це свідчать результати опитування тих науковців, які покинули Україну і працюють в наукових закладах інших держав світу. Основним мотивом їхнього виїзду за кордон була відсутність в Україні сучасної наукової інфраструктури.

### Стратегія розвитку науково-технологічної сфери України

Стратегічний план розвитку науково-технологічної сфери України має містити такі елементи:

- розвиток інтелектуального потенціалу нації;
- інтегрування сфер науки і освіти;
- розширення взаємозв'язків науково-дослідницької сфери з промисловими та підприємницькими структурами.

Для успішної реалізації такого плану потрібно насамперед реформувати систему управління та фінансового забезпечення науково-технічної та інноваційної діяльності, а також, що не менш важливо, підвищити престиж науково-технічної діяльності та залучити молодь до наукової роботи.

Одним з елементів такого реформування має бути чітке визначення функцій трьох основних видів науково-технологічної діяльності та оптимального їх фінансування (див. табл. 2), зокрема конкурсних засадах (табл. 3).

Як видно з табл. 3, проблема в тому, щоб знайти можливості як спрямувати витрати, вказані в останньому рядку (це, зазвичай, не контрольовані науковою спільнотою витрати), на фінансування наукових та науково-технічних програм та інших проєктів, які проходять конкурсний відбір за встановленими у світовій практиці правилами.

Таблиця 2. Основні види науково-технологічної діяльності та обсяги їх фінансування в Україні

Вид діяльності	Функція	Фінансування в % від загального обсягу
Фундаментальні дослідження (ФД)	Нові знання	15 (15)
Прикладні дослідження (ПД)	Трансформація нових знань до їх практичного використання	15 (25)
Розробки (Р)	ДКР, документація та дослідні взірці нових машин, матеріалів, технологій	70 (60)

**Таблиця 3.** Розподіл бюджетного фінансування науково-технологічної діяльності в Україні

Види витрат	1998	1999	2000	2001	2002
Базове фінансування наукових установ	45,1	33,5	34,7	39,9	45,9
Державні науково-технічні програми	7,6	3,7	13,1	9,8	3,4
Держзамовлення на науково-технічну продукцію	9,3	3,9	6,2	3,3	3,7
Інші витрати різними розпорядниками коштів	38,0	58,9	46,0	47,0	47,0

**Спроба передбачення майбутнього науково-технічної сфери України**

Передбачення в будь-якій сфері діяльності людини, а тим паче в науково-технологічній, рідко

**Таблиця 4.** Фінансове забезпечення НТ сфери України (песимістичний сценарій)

Джерела фінансування та його розподіл	2003	2004	2005	2006
Держбюджет (% ВВП)	0.34	0.37	0.32	0.29
Внутрішні замовлення (% ВВП)	0.39	0.42	0.44	0.45
Зовнішні замовлення (% ВВП)	0.43	0.49	0.54	0.60
Разом	1.16	1.28	1.30	1.34
Базове фінансування установ	47.0	45.0	43.0	41.0
Державні науково-технічні програми	5.1	5.2	4.5	4.0
Держзамовлення	4.5	5.0	5.5	6.0
ДФФД	0.7	0.6	0.6	0.6
Інші	42.7	44.2	46.4	48.4
Разом	100	100	100	100

суть контроверсійна. Але тенденції розвитку науково-технічної сфери можна передбачити на підставі аналізу державної політики щодо фінансування НТ сфери, його розподілу (базового та на конкретних засадах, зменшення кількості головних розпорядників коштів), залучення іноземних замовлень та інвестицій тощо.

Табл. 4 та 5, складені на підставі даних, які подані у статті Маліцького та ін., цитовані нами у розділі 3, характеризують два варіанти (песимістичний та оптимістичний) розвитку НТ сфери України.

Висновки очевидні. Якщо не запровадити оптимістичного варіанта фінансового забезпечення науково-технічної сфери і, що найважливіше, його конкурентного розподілу, то:

- можливість переходу економіки України на інноваційний шлях розвитку стає малоімовірною;
- науково-технічна сфера України і далі забезпечуватиме інші високотехнологічні країни висококваліфікованими кадрами та новими ідеями та розробками.

**Таблиця 5.** Фінансове забезпечення НТ сфери України (оптимістичний сценарій)

Джерела фінансування та його розподіл	2003	2004	2005	2006
Держбюджет (% ВВП)	0.49	0.80	1.30	1.70
Внутрішні замовлення (% ВВП)	0.40	0.55	0.75	0.90
Зовнішні замовлення (% ВВП)	0.45	0.51	0.60	0.65
Разом	1.34	1.86	2.65	3.25
Базове фінансування установ	47.0	45.0	43.0	40.0
Державні науково-технічні програми	8.4	33.0	40.0	45.0
Держзамовлення	4.0	5.0	6.0	7.0
ДФФД	0.7	3.0	4.5	6.0
Інші	39.9	14.0	6.5	2.0
Разом	100	100	100	100

# Всеукраїнська олімпіада з фізики в Сумах

Степан Лабудько,

*завідувач відділу природничо-математичної освіти  
Сумського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти*

З першими несміливими, але ласкавими променями весняного сонця на Сумщину прийшло свято – Всеукраїнська олімпіада з фізики. Цю олімпіаду започаткували сорок років тому, далекого 1964 року. На період весняних канікул місто Суми стало олімпійською столицею, де 14 березня запалав олімпійський факел, доставлений з берегів сивого Дніпра, із міста козацької слави, міста сталеварів та енергетиків – Запоріжжя.

Урочисте відкриття сорок першої олімпіади відбулося у студентському клубі агрономічного факультету Сумського національного аграрного університету.

Як зазначив на відкритті начальник управління освіти і науки Сумської облдержадміністрації Володимир Чирва, Сумщина – край з багатомістовою славною історією, край талановитих і працюючих людей, який дав світові композиторів Дмитра Бортнянського і Максима Березовського, художників Георгія Нарбута і Давида Бурлюка, режисера-драматурга і скульптора Івана Кавалерідзе, співака Бориса Гмирю, фізиків Абрама Йоффе, Бориса Лазарева, Степана Тимошенка та Олександра Усикова – радо прийняла найкращих, обдарованих і талановитих учнів з усіх областей нашої держави.



*Дискусія зі членами журі  
під час аналізу розв'язків задач*

Учасників олімпіади тепло привітав академік Академії педагогічних наук, один з організаторів першої фізичної олімпіади в Україні, голова журі Семен Гончаренко, який висловив надію, що участь в олімпіаді для декого може бути першим кроком до Нобелівської премії.

Присутніх привітали провідний спеціаліст Міністерства освіти і науки України Олена Хоменко, перший проректор Сумського національного аграрного університету Валерій Жмайлов та інші.

Суми вдруге проводять олімпіаду з фізики такого рівня. Тут 1979 року проходила шістнадцята Республіканська олімпіада юних фізиків. І доречно зазначити, що один із головних організаторів нинішньої олімпіади – завідувач відділу роботи з обдарованою молоддю Науково-методичного центру середньої освіти Міністерства освіти і науки України Борис Кремінський був учасником шістнадцятої олімпіади та здобув диплом переможця. Учасником тієї ж олімпіади був також один із членів журі – Юрій Пасіхов, учитель фізико-математичної гімназії № 17 м. Вінниці.

За роки свого існування фізична олімпіада постійно удосконалювалася. Від 1968 року, крім теоретичного, проводиться й експериментальний тур. На попередній олімпіаді в місті Запоріжжі вперше було проведено неофіційний демонстраційний тур для учнів 8–9-х класів. Цього ювілейного для фізичної олімпіади року результати демонстраційного туру для учнів 8–10-х класів були додані до офіційного заліку.

Особливістю цьогоорічної олімпіади був надзвичайно високий науково-теоретичний і практичний рівень. Про це свідчать і спеціальні призи, які були присуджені за розв'язки окремих задач теоретичного туру. А експериментальні задачі мали дослідницький характер і стали переконливим доказом того, що олімпіада з фізики не перетворюється в олімпіаду з „фізичної математики”.





Задачі теоретичного туру підготували Семен Гончаренко, Ігор Анісімов, Ігор Пінкевич, Олег Орлянський, Анатолій Федоренко. Задачі експериментального туру запропонували Валерій Колебошин і Павло Віктор, а задачі демонстраційного туру – Валерій Колебошин, Павло Віктор і Валерій Старошук.

Знання учнів, уміння не стандартно мислити і знаходити шляхи розв'язку складних фізичних задач оцінювало поважне журі, у складі якого відомі далеко за межами нашої країни вчені-фізики. Це Семен Гончаренко – головний науковий співробітник Інституту педагогіки і психології професійної освіти, академік АПН України, професор, доктор педагогічних наук (голова), Ігор Анісімов – завідувач кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка, професор, доктор фізико-математичних наук (заступник голови), Євген Коршак – завідувач кафедри Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова, професор, кандидат педагогічних наук (заступник голови) і багато інших.

На урочистому закритті олімпіади Б. Кремінський зазначив, що учасники олімпіади виявили високі теоретичні знання з фізики та експериментальні вміння і навички. Переможцями стали 86 учасників із 174-х. Дипломи першого ступеня отримали:

- *Рман Тищенко*, учень 8-го класу технічного ліцею (м. Вінниця);
- *Валентина Тарасова*, учениця 8-го класу фізико-математичного ліцею (м. Черкаси);
- *Роман Бистрий*, учень 8-го класу науково-природничого ліцею (м. Жовті Води Дніпропетровської області);
- *Олексій Островський*, учень 9-го класу фізико-математичної гімназії №17 (м. Вінниця);
- *Роман Дехтяр*, учень 9-го класу фізико-математичного ліцею (м. Львів);
- *Ярослав Климко*, учень 9-го класу фізико-математичного ліцею (м. Львів);
- *Руслан Ірик*, учень 10-го класу Українського фізико-математичного ліцею Київського національного університету імені Тараса Шевченка;
- *Юрій Антропов*, учень 10-го класу обласного ліцею-інтернату фізико-математичного профілю (м. Дніпропетровськ);
- *Олександр Лященко*, учень 10-го класу Українського фізико-математичного ліцею Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

- *Олександр Шпак*, учень 11-го класу Українського фізико-математичного ліцею Київського національного університету імені Тараса Шевченка;
- *Микола Дедушенко*, учень 11-го класу ліцею № 157 (м. Київ);
- *Андрій Вишневий*, учень 11-го класу міського ліцею м. Маріуполя Донецької області;
- *Дмитро Батюк*, учень 11-го класу Києво-Печерського ліцею „Лідер” № 171 (м. Київ).

Ще 28 учасників отримали дипломи другого ступеня і 45 – дипломи третього ступеня. Усіх переможців нагородили цінними подарунками.

Ця олімпіада не була простою для її організаторів. Учасники олімпіади та члени журі проживали у трьох місцях. Проведення олімпіади на базі Сумського національного аграрного університету мало свої позитивні елементи, але були й певні організаційні труднощі, адже навчальний процес у технологічному корпусі, де відбувалася олімпіада, не припинявся.

Варто зазначити також велику матеріаломісткість експериментального туру. Для деяких задач цього туру треба було виготовити спеціальне обладнання – комплекти із шести циліндричних стрижнів різного діаметра від 3 до 14 мм, а для експерименту в 11-му класі було спеціально обладнано три лабораторії джерелами постійного струму з ЕРС 140-160 В, підключених до кожного робочого місця через резистор 1,0 МОм. Загалом для експериментального і демонстраційного турів було використано понад дві тисячі одиниць лабораторного обладнання.

Оргкомітет олімпіади, який очолили Володимир Чирва – начальник управління освіти і науки Сумської обласної державної адміністрації (голова), Борис Кремінський – завідувач відділу роботи з обдарованою молоддю Науково-методичного центру Міністерства освіти і науки України (заступник голови) і Михайло Шевцов – перший заступник начальника управління освіти і науки Сумської обласної державної адміністрації (заступник голови), зробив усе для того, щоб олімпіада пройшла на належному рівні. Виступи творчих студентських колективів Сумського національного аграрного університету прикрасили свято. Олімпійський факел 19 березня 2004 року взяв курс на Хмельниччину.

## Умови задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 р. (м. Суми)

### 8-й клас

#### Задача 1.

Хлопчик іде до школи вздовж залізниці зі швидкістю  $u = 4$  км/год. Коліями рухаються назустріч один одному два пасажирських потяги, один з яких має  $n_1 = 20$  вагонів, а другий –  $n_2 = 25$  вагонів. Хлопчик звернув увагу, що перші вагони потягів порівнялись один з одним якраз навпроти нього, але його здивувало те, що й останні вагони розійшлися строго навпроти нього. Хлопчика зацікавило, з якою швидкістю рухаються потяги. А ви зможете відповісти на це запитання? Вважайте, що швидкості обох потягів однакові.

#### Задача 2.

У ванну, заповнену водою, опустили дерев'яне кільце (див. рис.). Площа поперечного перерізу отвору кільця  $S = 300$  см<sup>2</sup>, а висота кільця  $H = 5$  см. Яку максимальну масу бензину можна влити всередину кільця так, щоб він не вилився? Густина бензину  $\rho_b = 700$  кг/м<sup>3</sup>, дерева –  $\rho_d = 500$  кг/м<sup>3</sup>.



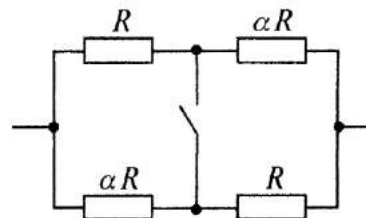
#### Задача 3.

У калориметр з гарячою водою вкинули кубик льоду, температура якого  $0^\circ\text{C}$ . Після встановлення теплової рівноваги температура води знизилася на  $\Delta t_1 = 12^\circ\text{C}$ . Коли в калориметр укинули другий

такий самий кубик льоду, температура води знизилася ще на  $\Delta t_2 = 10^\circ\text{C}$ . Наскільки знизиться температура води, якщо в неї вкинути третій такий самий кубик, який повністю розтане? Теплоємністю калориметра та теплообміном із навколишнім середовищем знехтуйте.

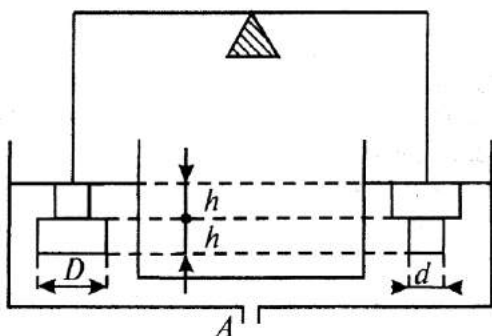
#### Задача 4.

Нагрівні елементи, відношення опорів яких дорівнює  $\alpha$ , з'єднані так, як зображено на рисунку. Визначіть  $\alpha$ , якщо відомо, що при замиканні ключа загальна потужність кола збільшується вдвічі. Зміною опорів елементів під час нагрівання знехтуйте.



#### Задача 5.

На рівноплечих терезах висять два тіла, які повністю занурені у воду і є в рівновазі в сполучених посудинах (див. рис.). Тіла однакові й складаються з двох частин циліндричної форми,  $D = 2d$ . Висоти обох циліндричних частин однакові й дорівнюють  $h$ , одне тіло перевернуте щодо іншого. Вода починає повільно витікати через отвір  $A$ . Її рівень з часом знижується за законом  $y = at$ . Побудуйте графік залежності вертикального переміщення тіл від часу.



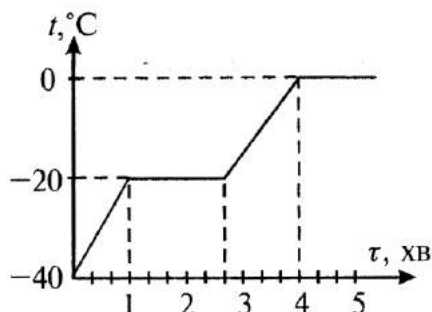
9-й клас

**Задача 1.**

Автомобіль з усіма ведучими колесами масою  $m = 1$  т рухається горизонтальним шляхом. Коефіцієнт тертя шин об асфальт  $\mu = 0,1$ . Тертя в осях відсутнє. Сила опору повітря пропорційна квадратові швидкості автомобіля:  $F_{\text{оп}} = kv^2$ , де  $k = 0,2 \text{ Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$ . Визначіть, як залежить максимальна швидкість, яку може розвинути автомобіль, від потужності встановленого на ньому двигуна. Побудуйте графік цієї залежності для  $0 < P < 100 \text{ кВт}$ .

**Задача 2.**

У теплоізолювану посудину з нагрівником усередині вміщено 1 кг льоду і 1 кг речовини, яка при плавленні не змішується з водою. Температури обох речовин у кожний момент часу однакові. Спочатку температура в посудині дорівнювала  $-40^\circ\text{C}$ , а потім увімкнули нагрівник постійної потужності. Залежність температури в посудині від часу зображена на рисунку. Питома теплоємність льоду  $c_{\text{л}} = 2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Визначіть питому теплоту плавлення речовини та її питому теплоємність у розплавленому стані, якщо її теплоємність у твердому стані  $c_{\text{р}} = 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

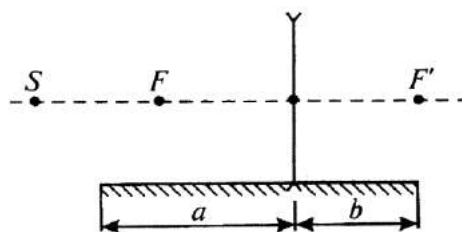


**Задача 3.**

Дві тонкі мідні дротини однакової довжини з'єднали паралельно і приєднали послідовно з лампочкою до джерела постійної напруги. Перша дротина нагрілася на  $16^\circ\text{C}$  вище від кімнатної температури, а друга – на  $8^\circ\text{C}$ . На скільки градусів вище від кімнатної температури нагріються дротини, якщо їх з'єднати послідовно? Опір кожної з дротин набагато менший за опір лампочки і джерела. Залежності опору дротин від температури не враховуйте.

**Задача 4.**

Оптична система складається з точкового джерела світла  $S$ , тонкої розсіювальної лінзи з фокусною відстанню  $F$  і плоского дзеркала скінчених розмірів (див. рис.). Джерело міститься на подвійній фокусній відстані від центра  $O$  лінзи і лежить на її головній оптичній осі. Дзеркало, паралельне до цієї осі, дотикається до лінзи, а його краї розташовані на відстанях  $a = 1,5F$  і  $b = F$  від площини лінзи. Побудуйте всі зображення джерела в системі. Для кожного зображення вкажіть в площині рисунка ділянку, з яких можна його побачити. Кожну ділянку побудуйте на окремому рисунку.



**Задача 5.**

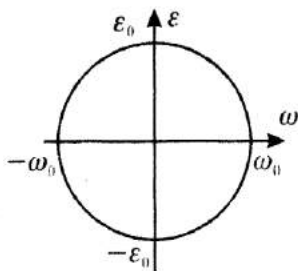
Циліндрична колода радіусом  $R$  переміщується горизонтальною площиною зі швидкістю  $v$ . На її шляху сидить коник-стрибунець. Визначіть найменшу швидкість  $u$ , з якою коник має підстрибнути вертикально догори так, щоб уникнути зіткнення з колодою. Розмірами коника порівняно з розмірами колоди знехтуйте. Вражайте, що під час польоту на коника діє тільки сила земного тяжіння.



## 10-й клас

**Задача 1.**

Частинка масою  $m$  рухається вздовж кола радіуса  $r$ . Графік залежності її кутового прискорення від кутової швидкості в деякому масштабі також має вигляд кола (рис.). Визначіть найменше і найбільше значення сили, яка діє на частинку при її русі.


**Задача 2.**

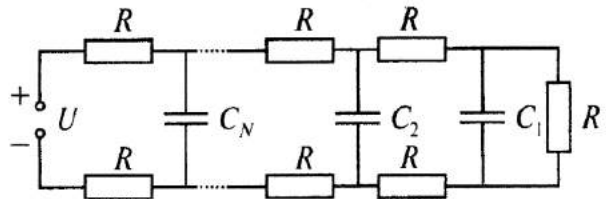
Ракета отримує енергію для руху завдяки хімічній реакції в паливній суміші  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ , яка дає  $13,3 \cdot 10^6$  Дж/кг енергії. Ефективність перетворення тепла в кінетичну енергію (ККД) характеризується відношенням кінетичної енергії газів, що витікають із сопла ракети, до отриманої при хімічній реакції енергії. Вважаючи, що газ ідеальний і адиабатичне розширюється від тиску в камері, де проходить хімічна реакція, до атмосферного тиску біля виходу із сопла, покажіть, що ККД процесу такий самий, як для циклу Карно. Знайдіть ККД ракетного двигуна, якщо тиск у камері згоряння  $10^7$  Н/м<sup>2</sup> і для газу  $\text{H}_2\text{O}$  відношення  $c_p/c_v = 1,25$ . Оцініть швидкість газів на виході із сопла ракети.

**Задача 3.**

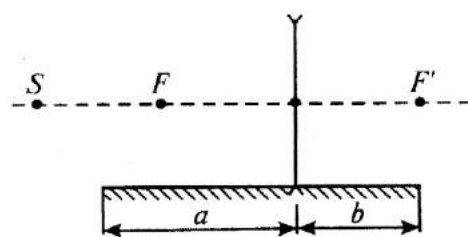
Є підстави вважати, що 65 мільйонів років тому астероїд діаметром 12 км зіткнувся із Землею. Вважайте, що астероїд рухався з такою ж швидкістю, як і Земля, але в протилежному напрямку і здійснив з нею лобове зіткнення. Знайдіть радіус нової орбіти Землі. Вважайте: початкову та кінцеву орбіту Землі коловими, густину речовини астероїда такою ж, як у Землі. Початковий радіус орбіти  $1,5 \cdot 10^8$  км, радіус Землі  $6,4 \cdot 10^3$  км.

**Задача 4.**

Електричне коло (див. рис.) містить  $N$  однакових конденсаторів ємністю  $C$  і відповідну кількість однакових резисторів опором  $R$ . Коло приєднане до мережі постійного струму з напругою  $U$ . Визначіть сумарний заряд усіх конденсаторів.


**Задача 5.**

Оптична система складається з точкового джерела світла  $S$ , тонкої розсіювальної лінзи з фокусною відстанню  $F$  і плоского дзеркала скінчених розмірів (див. рис.). Джерело міститься на подвійній фокусній відстані від центра  $O$  лінзи і лежить на її головній оптичній осі. Дзеркало, паралельне до цієї осі, дотикається до лінзи, а його краї розташовані на відстанях  $a = 1,5F$  і  $b = F$  від площини лінзи. Побудуйте всі зображення джерела в системі. Для кожного зображення вкажіть в площині рисунка ділянку, з яких можна його побачити. Кожну ділянку побудуйте на окремому рисунку.



## 11-й клас

**Задача 1.**

Поїзди, що йдуть через тунель під Ла-Маншем, мають масу 2500 т і споживають з електричної мережі потужність 11 МВт. Вважаючи, що ця потужність постійна від початку набору швидкості до досягнення крейсерського значення – 140 км/год, знайдіть:

- як прискорення поїзда залежить від його швидкості;
- як його швидкість залежить від часу і від пройденого шляху;
- який час потрібен для досягнення крейсерської швидкості та який при цьому буде пройдено шлях;
- середнє значення сили тяги поїзда протягом розглянутого часу;
- порівняйте отримані в пункті „в” результати з випадком, коли постійною є не споживана потужність, а сила тяги поїзда, яка дорівнює обчисленому в пункті „з” середньому значенню.

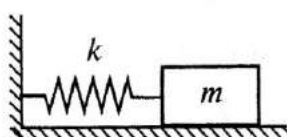
**Задача 2.**

Комета Гейла-Бопа в перигелії своєї орбіти 2 квітня 1997 року була на відстані 0,914 а. о. від Сонця і мала в цій точці швидкість 44,01 км/с щодо системи, зв’язаної з Сонцем.

- Якою має бути швидкість комети в перигелії, щоб вона змогла назавжди покинути сонячну систему?
  - Знайдіть відстань від Сонця до афелію комети.
  - Котрого року комета знову буде в перигелії?
  - Оцінка, яку Ви одержали, загалом, доволі груба. Що найсильніше впливає на величину похибки обчислень?
- (1 а. о. =  $1,496 \cdot 10^{11}$  м – середня відстань між Землею і Сонцем; перигелій і афелій – відповідно найближча та найвіддаленіша від Сонця точки орбіти).

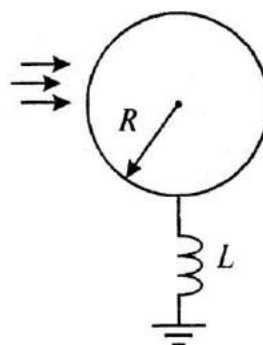
**Задача 3.**

Маятник складається із пружини з коефіцієнтом жорсткості  $k$  та бруска маси  $m$  (рис.), що рухається горизонтально із сухим тертям. Сила сухого тертя постійна за модулем і дорівнює  $F_0$  та протилежна до напрямку швидкості. У початковий момент часу брусок відхилений на відстань  $a$  від положення рівноваги і нерухомий. Скільки часу триватиме рух бруска? У якій точці він зупиниться?



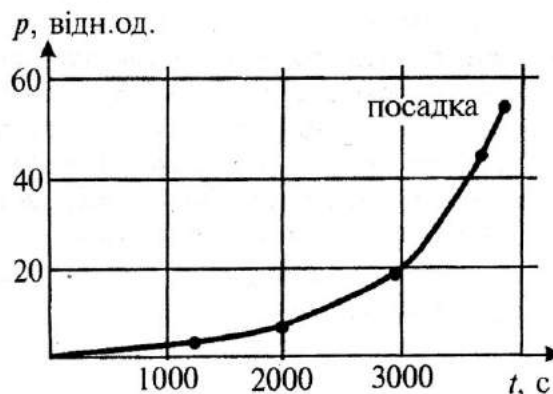
**Задача 4.**

Металева куля радіусом  $R$  через котушку індуктивності  $L$  з’єднана із Землею (рис.). На неї налітає пучок електронів, які рухаються з нескінченності. Визначіть максимальний заряд кулі й побудуйте графік залежності сили струму, що проходить через котушку, від часу. Вважайте, що спочатку куля була незаряджена, густина електронів у пучку  $n$ , а її швидкість  $v \ll c$ , де  $c$  – швидкість світла. Взаємодією між електронами та впливом на них поля кулі знехтуйте.



**Задача 5.**

На поверхню планети з постійною швидкістю, напрямленою вертикально вниз, опускається космічний апарат, який передає на борт корабля дані про тиск атмосфери. Графік залежності тиску (у відносних одиницях) від часу зображено на рисунку. Після посадки на поверхню планети апарат виміряв і передав дані про температуру  $T = 700$  К і прискорення вільного падіння  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Визначіть швидкість  $v$  спускання апарата й температуру  $T_h$  на висоті  $h = 15$  км над поверхнею планети, якщо відомо, що атмосфера планети складається з вуглекислого газу  $CO_2$ .



## Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 р. (м. Суми)

(Умови задач Всеукраїнської олімпіади з фізики за 2004 р.  
дивіться в журналі „Світ фізики”. 2004. № 2. С. 30–33)

### 8-й клас

#### Задача 1.

За час  $t$ , впродовж якого потяги проїжджають повз хлопчика, перший потяг пройде шлях  $S_1 = n_1 l + ut$ , а другий  $S_2 = n_2 l - ut$  ( $l$  – довжина вагона). Оскільки швидкості потягів однакові, то і  $S_1 = S_2$ . Звідси довжина вагона

$$l = \frac{2ut}{n_2 - n_1}.$$

А швидкість потягів

$$v = \frac{S_1}{t} = \frac{n_2 + n_1}{n_2 - n_1} u = 36 \text{ км/год.}$$

#### Задача 2.

Вагу кільця зрівноважує сила гідростатичного тиску:

$$mg = ps_1,$$

де  $m = \rho_d s_1 H$ ;  $p = \rho_b gh$ ,  $s_1$  – площа основи кільця;  $h$  – глибина занурення кільця.

Звідси

$$\rho_d gH = \rho_b gh. \quad (1)$$

Під час заповнення внутрішньої частини кільця бензином гідростатичний тиск на рівні нижнього краю кільця буде постійний. Оскільки густина бензину менша за густину води, загальна висота шару бензину й води всередині кільця буде більшою за висоту води ззовні кільця –  $h$ . Завдяки тому, що деревина у воді не тоне, бензин врешті-решт почне підтікати під кільце знизу. Нехай  $x$  – максимальна висота бензину, налитого всередину кільця. Запишімо рівність гідростатичних тисків:

$$\rho_b gx = \rho_b gh. \quad (2)$$

Із (1) та (2) отримаємо:

$$x = H \frac{\rho_d}{\rho_b}.$$

Оскільки об'єм бензину всередині кільця

$$V = Sx = HS \frac{\rho_d}{\rho_b},$$

то його маса

$$m_b = \rho_b V = HS \rho_d = 0,75 \text{ кг.}$$

#### Задача 3.

Запишімо рівняння теплового балансу для першого випадку:

$$cM\Delta t_1 = \lambda m + cm(t_1 - \Delta t_1),$$

де  $M$  – початкова води,  $m$  – маса кубика льоду,  $\lambda$  – питома теплота плавлення льоду,  $c$  – питома теплоємність води,  $t_1$  – початкова температура води. Звідси

$$\left(\frac{M}{m} + 1\right)\Delta t_1 = \frac{\lambda}{c} + t_1. \quad (1)$$

Для другого кубика можна записати аналогічне рівняння

$$\left(\frac{M}{2m} + 1\right)(\Delta t_1 + \Delta t_2) = \frac{\lambda}{c} + t_1. \quad (2)$$

Із (1) та (2) отримаємо:

$$\left(\frac{M}{m} + 1\right)\Delta t_1 = \left(\frac{M}{2m} + 1\right)(\Delta t_1 + \Delta t_2).$$

Звідси відношення мас:

$$\frac{M}{m} = 2 \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1 - \Delta t_2} = 10.$$

Для третього кубика:

$$\left(\frac{M}{3m} + 1\right)(\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3) = \frac{\lambda}{c} + t_1. \quad (3)$$

Із рівнянь (1) та (3):

$$\Delta t_3 = \frac{2}{1 + \frac{M}{3m}} \Delta t_1 - \Delta t_2 \approx 8,5^\circ\text{C}.$$





**Задача 4.**

Опір ділянки кола до замикання ключа:

$$R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R + \alpha R} + \frac{1}{R + \alpha R}} = \frac{R(\alpha + 1)}{2}$$

Сила струму в колі:

$$I_1 = \frac{2U}{R(\alpha + 1)}$$

Споживана потужність:

$$P_1 = I_1^2 R_1 = \frac{2U^2}{R(\alpha + 1)}$$

Опір навантаження після замикання ключа:

$$R_2 = \frac{2}{\frac{1}{R} + \frac{1}{\alpha R}} = \frac{2\alpha}{\alpha + 1} R$$

Сила струму після замикання ключа:

$$I_2 = \frac{U(\alpha + 1)}{2\alpha R}$$

Споживана потужність після замикання ключа:

$$P_2 = I_2^2 R_2 = \frac{U^2(\alpha + 1)}{2\alpha R}$$

За умовою задачі  $P_2 = 2P_1$ , тобто

$$\frac{U^2(\alpha + 1)}{2\alpha R} = 2 \frac{2U^2}{R(\alpha + 1)}, \text{ або } \alpha^2 - 6\alpha + 1 = 0.$$

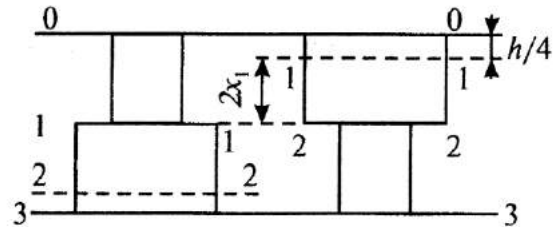
Звідси

$$\alpha = 3 \pm 2\sqrt{2}, \text{ або } \alpha_1 = 0,17, \alpha_2 = 5,83.$$

**Задача 5.**

Відлік зміни рівня води почнімо з положення, у якому тіло торкнеться поверхні води. Від цього моменту виявлятимуться два чинники. З одного боку, архімедова сила правого тіла, яка діє на праве тіло, зменшується більше ніж та, що діє на ліве. З іншого боку, оскільки праве тіло важчає швидше за ліве, терези почнуть повертатись за годинниковою стрілкою, відновлюючи рівновагу. Умова рівноваги на початку витікання води визначається рівністю архімедових сил, які діють на обидва тіла.

$$(y + x) \frac{\pi d^2}{4} \rho_0 g = (y - x) \frac{\pi D^2}{4} \rho_0 g. \quad (1)$$



Звідси отримаємо

$$x = \frac{3}{5} y = \frac{3}{5} at. \quad (2)$$

Отже, виходячи з (2), перміщення  $x$  зростає лінійно, і досягне максимуму  $x_1$ , коли ліве тіло виступатиме над водою на висоту  $h$ , а праве – на висоту  $h/4$ . Це рівень 1–1 (рис. 2). Оскільки  $y_1 + x_1 = h$ , то виходячи з (1) маємо:

$$x_1 = \frac{3}{5} y_1 = \frac{3}{5} at_1, \quad y_1 = \frac{5}{8} h, \quad x_1 = \frac{5}{8} h, \quad t_1 = \frac{5}{8} \frac{h}{a}$$

Від цього моменту архімедові сили змінюватимуться однаково, аж поки вода не досягне рівня 2–2. Це відбудеться за умов

$$y_2 - y_1 = \frac{3}{4} h, \quad x_2 - x_1 = 0, \quad t_2 = t_1 + \frac{y_2 - y_1}{a}$$

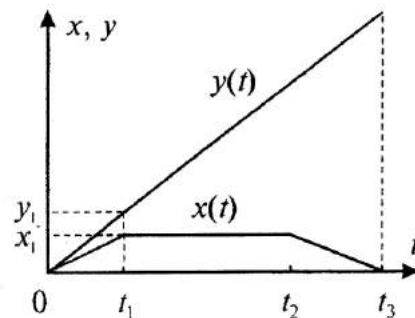
Звідси отримаємо

$$x_2 = x_1 = \frac{3}{8} h, \quad y_2 = \frac{11}{8} h, \quad t_2 = \frac{11}{8} \frac{h}{a}$$

Після цього, терези почнуть відхилитись у протилежному напрямку за законом

$$x = x_2 - \frac{3}{5} a(t - t_2),$$

і при  $y_3 = 2h, t_3 = \frac{2h}{a}$ , повернуться в початкове положення.



**9-й клас**
**Задача 1.**

Під час руху з постійною швидкістю  $v$  на автомобіль у горизонтальному напрямку діють дві сили:

$F_{\text{оп}} = kv^2$  – напрямлена проти руху;

$F_{\text{т}}$  – сила тяги, напрямлена за рухом автомобіля.

Якщо швидкість  $v$  настільки велика, що

$$F_{\text{т}} > F_{\text{т. макс.}} = \mu mg,$$

то рушійна сила  $F = F_{\text{т}} < F_{\text{оп}}$ , і автомобіль гальмуватиме. Навіть, якщо потужність двигуна достатньо велика, колеса проковзуватимуть, і знову,  $F = F_{\text{т. макс.}} < F_{\text{оп}}$ . Це означає, що є гранична швидкість  $v_0$ , яка не залежить від потужності двигуна.

При цій швидкості  $F_{\text{оп}} = F_{\text{т. макс.}}$ , тобто  $kv_0^2 = \mu mg$ ,

$$\text{звідси } v_0 = \sqrt{\frac{\mu mg}{k}} \approx 71 \text{ м/с.}$$

З іншого боку, для підтримання постійної швидкості  $v$  потрібна потужність  $P = F_{\text{оп}}v = kv^3$ .

Отже,  $v_{\text{макс}} = \sqrt[3]{P/k}$ .

Узагальнімо одержані результати:

$$v_{\text{макс}} = \min \left\{ \sqrt[3]{P/k}; \sqrt{\frac{\mu mg}{k}} \right\}.$$

Починаючи з потужності

$$P_0 = \mu mg \sqrt{\frac{\mu mg}{k}} \approx 70 \text{ кВт,}$$

швидкість залишатиметься сталою  $v = v_0$ .

**Задача 2.**

Наявність на горизонтальному графіку „плато” (горизонтальної ділянки), яке відповідає температурі  $-20^\circ \text{C}$ , свідчить про те, що саме при цій температурі й відбувається плавлення невідомої речовини. Очевидно, що плато при  $0^\circ \text{C}$  відповідає процесові танення льоду.

Як видно з графіка, для нагрівання вмісту посудини від початкової температури  $t_1 = -40^\circ \text{C}$  до температури  $t_1 = -20^\circ \text{C}$  затрачено час  $\tau_1 = 60 \text{ с}$ , при цьому від нагрівника отримано кількість теплоти  $P\tau_1$ , де  $P$  – потужність нагрівника. Запишімо рівняння теплового балансу для цього процесу:

$$(c_n + c)m(t_2 + t_1) = P\tau_1, \quad (1)$$

де  $m = 1 \text{ кг}$ . Для повного розплавлення речовини, яке тривало  $\tau_2 = 100 \text{ с}$ , затрачено кількість теплоти

$$m\lambda = P\tau_2. \quad (2)$$

Розділивши (2) на (1), знайдемо питому теплоту плавлення невідомої речовини:

$$\lambda = (c_n + c)(t_2 - t_1) \frac{\tau_2}{\tau_1} = 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Подальше нагрівання суміші льоду та розплаву речовини до температури  $t_3 = 0^\circ \text{C}$  відбувалося впродовж часу  $\tau_3 = 80 \text{ с}$ . Рівняння теплового балансу для цього процесу запишімо у вигляді

$$(c_n + c')m(t_3 - t_2) = P\tau_3,$$

де  $c'$  – питома теплоємність речовини в розплавленому стані. Порівнюючи перший і третій етапи процесу, знайдемо

$$c' = (c_n + c) \frac{t_3 - t_1}{t_3 - t_2} \cdot \frac{\tau_3}{\tau_1} = 2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

**Задача 3.**

Нехай  $r_1$  та  $r_2$  – радіуси,  $l$  – їхня довжина, тоді опір дротин

$$R_1 = \frac{\rho l}{\pi r_1^2}, \quad R_2 = \frac{\rho l}{\pi r_2^2}.$$

Потужності електричного струму, які виділяються на кожній з дротин при паралельному з'єднанні, дорівнюють

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{U^2 \pi r_1^2}{\rho l}, \quad (1)$$

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{U^2 \pi r_2^2}{\rho l}, \quad (2)$$

де  $U$  – напруга на дротинах. У встановленому режимі, коли перша дротина нагрілась на  $\Delta t_1$ , а друга  $\Delta t_2$ , вся потужність електричного струму втрачається через бічні поверхні дротин на нагрівання навколишнього середовища:

$$P_1 = k \cdot 2\pi r_1 l \Delta t_1, \quad (3)$$

$$P_2 = k \cdot 2\pi r_2 l \Delta t_2, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності. Прирівнявши (1) до (3) та (2) до (4):

$$U^2 r_1 = 2k\rho l^2 \Delta t_1, \quad U^2 r_2 = 2k\rho l^2 \Delta t_2,$$

звідси  $\frac{r_1}{r_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \alpha$ . Отже, відношення сил струмів, що течуть через дротини при паралельному з'єднанні, таке

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U/R_1}{U/R_2} = \frac{R_2}{R_1} = (r_1/r_2)^2 = \alpha^2.$$

Оскільки опір кожної з дротин набагато менший за опір лампочки і джерела, то при заміні паралельного з'єднання на послідовне, загальна сила струму в колі не зміниться:

$$I = I_1 + I_2 = (1 + \alpha^2)I_2.$$

Нагрівання дротин (від кімнатної температури) в обох випадках прямо пропорційне потужності електричного струму, яка виділяється на них:

$$\frac{\Delta t'_1}{\Delta t_1} = \frac{P'_1}{P_1} = \frac{I^2 R_1}{I_1^2 R_1} = \left(\frac{\alpha^2 + 1}{\alpha^2}\right)^2;$$

$$\frac{\Delta t'_2}{\Delta t_2} = \frac{P'_2}{P_2} = \frac{I^2 R_1}{I_2^2 R_2} = (\alpha^2 + 1)^2,$$

де штриховані змінні відносяться до послідовного підключення дротин. Звідси маємо:

$$\Delta t'_1 = \left(\frac{\alpha^2 + 1}{\alpha^2}\right)^2 \Delta t_1 = 25^\circ\text{C},$$

$$\Delta t'_2 = (\alpha^2 + 1)^2 \frac{\Delta t_2}{\alpha} = 200^\circ\text{C}.$$

**Задача 4.**

Джерело має два первинних зображення:  $S_1$  – у дзеркалі,  $S_2$  – у лінзі (рис. 1),  $S_3$  – зображення  $S_1$  у лінзі, а  $S_4$  – зображення  $S_2$  у дзеркалі,  $S_5$  – зображення  $S_3$  у дзеркалі. Інших зображень немає.

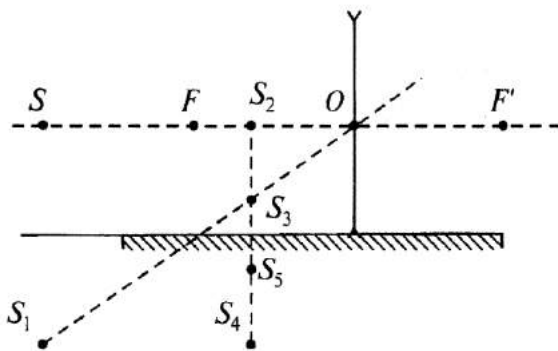


Рис. 1

Ділянки, з яких можна побачити зображення, визначаються пучками променів, які їх утворюють. Зображення  $S_1$  можна побачити з ділянки 1 у верхній півплощині (рис. 2). Зображення  $S_2$  (рис. 2) і  $S_3$  (рис. 3) видно з ділянок 2 і 3, які обмежені променями від лінзи і краєм дзеркала. Ділянки видимості  $S_4$  (рис. 3) і  $S_5$  (рис. 4) задаються променями, які потрапили на дзеркало після заломлення в лінзі. Усі зображення уявні.

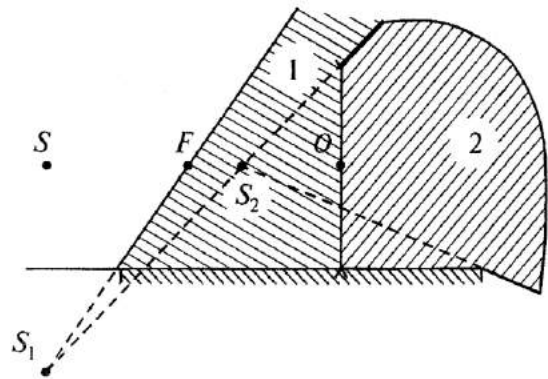


Рис. 2

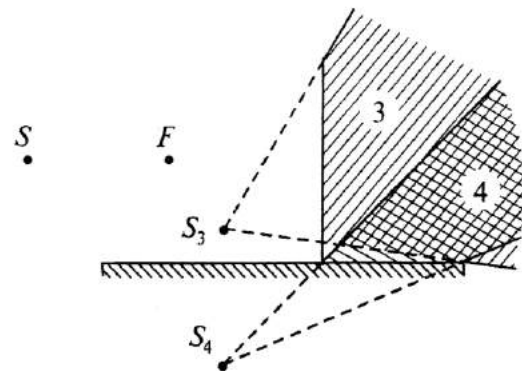


Рис. 3

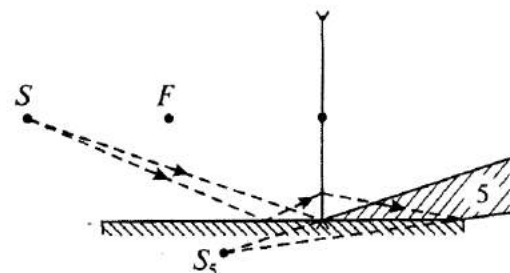


Рис. 4



**Задача 5.**

Для виконання вимоги мінімуму швидкості коника потрібно, по-перше, щоб траєкторія його руху дотикалася до колоди і, по-друге, була симетричною відносно колоди на ділянках підйому і спуску. Тобто в системі відліку, яка поступально рухається разом з колодою зі швидкістю  $v$ , траєкторія руху коника може мати один з двох виглядів, які зображено на рис. 1. В обох випадках швидкість у найвищій точці горизонтальна і дорівнює  $v$ , а висота підйому  $h$  визначається швидкістю  $u$ :

$h = u^2/2g$ . Отже, враховуючи симетричність траєкторій, можна проаналізувати тільки другу частину руху, на початку якого коник має горизонтальну швидкість  $v$  і перебуває на висоті  $h$ .

У першому випадку найпростіше зауважити, що радіус кривизни траєкторії руху коника не може бути меншим ніж радіус колоди  $R$ , інакше парабола виявиться „вузькою” і „увійде” всередину кола. Як відомо, радіус кривизни  $r$  визначається з доцентрового прискорення, яке у найвищій точці руху збігається з прискоренням вільного падіння  $g$ :  $r = v^2/g$ . Отже, з  $r \geq R$  маємо умову  $v \geq \sqrt{gR}$ , за якої коник повинен стрибнути догори зі швидкістю  $u = 2\sqrt{gR}$ , щоб злетіти на висоту  $h = 2R$  і проминути колоду якнайближче до її найвищої точки.

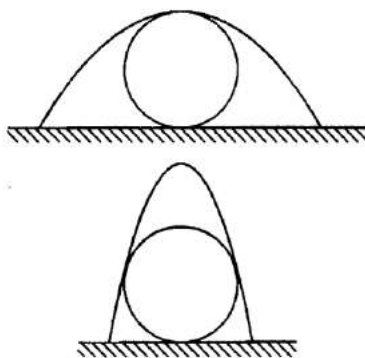


Рис. 1

Розгляньмо рух коника у другому випадку (рис. 2). Потрібно, щоб парабола, за якою рухається коник, і коло мали точку дотику.

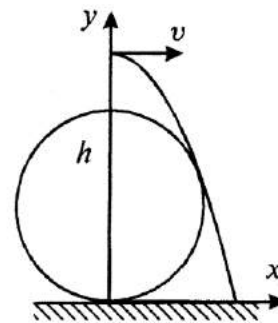


Рис. 2

Запишімо рівняння руху і кола:

$$\begin{cases} x = vt \\ y = h - \frac{gt^2}{2} \end{cases}, \text{ звідси } \begin{cases} y = h - \frac{gx^2}{2v^2} \\ x^2 + (y - R)^2 = R^2 \end{cases}$$

Вилучивши із системи рівнянь  $x^2$ , отримаємо квадратне рівняння відносно  $y$ , яке мусить мати один корінь ( $h > 2R$ ):

$$y^2 - 2\left(R + \frac{v^2}{g}\right)y + \frac{2v^2}{g}h = 0. \quad (1)$$

Це означає, що дискримінант  $D$  рівняння (1) дорівнює нулеві. У цьому неважко переконатися, якщо спочатку уявити „вузьку” парабола, гілка якої через збільшення швидкості  $v$  зміщується праворуч і у деякий момент дві точки перетину гілки параболи і кола зливаються в одну точку дотику (рис. 2.) – маємо один кратний корінь квадратного рівняння і

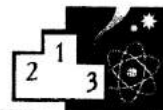
$$D = 4\left[\left(R + \frac{v^2}{g}\right)^2 - \frac{2v^2}{g}h\right] = 0. \quad (2)$$

З урахуванням того, що  $h = u^2/2g$ , з останнього рівняння знаходимо другий розв’язок:

$$u = v + \frac{gR}{v},$$

який, як неважко переконатися, задовольняє умову  $h > 2R$ .

Отже, якщо швидкість колоди  $v \geq \sqrt{gR}$ , коник має стрибнути догори зі швидкістю  $u = 2\sqrt{gR}$ , в



інших випадках ( $v < \sqrt{gR}$ ) швидкість коника залежить від швидкості колоди і дорівнює  $u = v + gR/v$ . Звісно, якщо колода ледь сунеться ( $v \rightarrow 0$ ), а коник згідно з умовою стрибає вертикально догори, його швидкість має бути дуже великою. Тут мають діяти обмеження, пов'язані з фізичними можливостями комахи.

Нарешті хотілося б відмітити одну цікаву і повчальну обставину, особливо актуальну для тих, кому якісне пояснення, чому саме дискримінант квадратного рівняння (1) дорівнює нулеві, у такому простому питанні, як кількість коренів квадратного рівняння, могло здатися зайвим. Зверніть увагу на те, що перший і другий типи траєкторій (рис. 1) ми аналізували зовсім по-різному. Невже першу траєкторію не можна було отримати як окремий випадок другої, коли  $h = 2R$ ? Спробуємо.

Підставмо в рівняння (2)  $h = 2R$ , і отримаємо  $v = \sqrt{gR}$ . Це тільки граничне значення першого випадку. А де ж додаткова нерівність  $v > \sqrt{gR}$ ?

Що ж спробуємо спочатку уявити „вузьку” параболу з вершиною в найвищій точці кола, яка перетинає коло ще у двох симетричних точках (ординати яких однакові). Почнімо подумки збільшувати швидкість  $v$ , завдяки чому гілки параболи почнуть розходитись, і в деякий момент точки перетину зіллються в одну точку дотику – маємо один кратний корінь квадратного рівняння (1) і  $D = 0$ . Це і є те саме граничне значення. Що ж буде відбуватися далі, якщо збільшуватиметься  $v$ ? Гілки параболи будуть віддалятися одна від одної (перше зображення на рис. 1), при цьому точка дотику  $y = 2R$  залишається коренем рівняння (1), але дискримінант вже має додатне значення

$$D = 4 \left( \left( R + \frac{v^2}{g} \right)^2 - \frac{2v^2}{g} 2R \right) = 4 \left( R + \frac{v^2}{g} \right)^2 > 0.$$

**Висновок.** Незважаючи на те, що параболу і коло мають тільки одну спільну точку, формально розв'язуючи системи рівнянь, яка зводиться до квадратного рівняння відносно  $y$ , ми мусимо розглянути й випадок з  $D = 0$ , і випадок з  $D > 0$ . В останньому – один із коренів рівняння відкидаємо через його нефізичне значення, тобто  $y > 2R$  або  $y < 0$ .

Формальний розв'язок рівняння (1) за умови  $h = 2R$ :

$$y_{1,2} = R + \frac{v^2}{g} \pm \left( R - \frac{v^2}{g} \right),$$

тобто  $y_1 = 2R$ ,  $y_2 = 2v^2/g$ . Другий корінь зайвий, тобто він немає фізичного сенсу, що означає:  $y_2 > 2R$ . Це і є загублена умова.

Тепер стає зрозуміло, чому перший випадок, який здається простішим, був проаналізований іншим методом.

### 10-й клас

#### Задача 1.

За другим законом Ньютона:

$$F = ma = m\sqrt{a_n^2 + a_t^2} = m\sqrt{(\omega^2 R)^2 + (\varepsilon R)^2} = mR\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}.$$

Аналітичний вигляд залежності кутового прискорення  $\varepsilon$  – це рівняння кола, яке зображене на рисунку. У безрозмірному записі це рівняння має вигляд:

$$\left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 = 1.$$

Вилучивши з двох рівнянь кутове прискорення  $\varepsilon$ , маємо:

$$F = mR \sqrt{\omega^2 + \varepsilon_0^2 \left( 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right)} = mR \varepsilon_0 \sqrt{\left( \frac{\omega^2}{\varepsilon_0} \right)^2 - \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + 1}.$$

Проаналізуємо вираз для сили на максимум і мінімум. Для зручності введемо безрозмірні

змінні  $y = \left( \frac{F}{mR\varepsilon_0} \right)^2$  та  $x = \omega^2/\varepsilon_0$ , а також позначення  $x_0 = \omega_0^2/\varepsilon_0$ . Зазначимо, що за умовою задачі  $0 \leq \omega^2 \leq \omega_0^2$ , отже,  $0 \leq x \leq x_0$ . Після заміни

отримаємо рівняння параболи

$$y = x^2 - \frac{1}{x_0}x + 1 = \left(x - \frac{1}{2x_0}\right)^2 + 1 - \frac{1}{4x_0^2},$$

яка спрямована гілками догори і має мінімум у точці  $x_{\min} = 1/2x_0$ . Залежно від розташування точки мінімуму маємо три випадки, які зручно проаналізувати графічно.

1. Припустімо, що  $x_{\min} \geq x_0$ , тобто  $1/2x_0 \geq x_0$ , або  $x_0^2 \leq 1/2$ . Тоді на проміжку  $x \in [0; x_0]$ , функція  $y(x)$  спочатку спадає і набуває максимального і мінімального значень на межах проміжку

$$y_{\max} = y(0) = 1, \quad y_{\min} = y(x_0) = x_0^2 \quad (\text{рис. 1}).$$

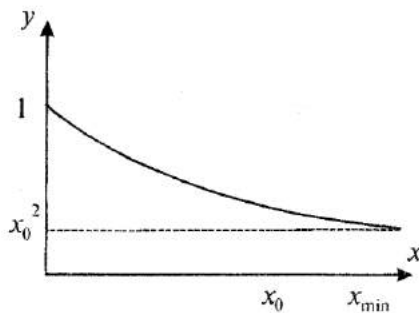


Рис. 1

2. Припустімо, що  $x_0/2 \leq x_{\min} \leq x_0$ . Тоді на проміжку  $x \in [0; x_0]$ , функція  $y(x)$  спочатку зменшується і набуває мінімального значення

$$y_{\min} = 1 - \frac{1}{4x_0^2} \quad \text{у точці} \quad x_{\min} = \frac{1}{2x_0},$$

а потім збільшується. Максимальне значення її  $y_{\max} = y(0) = 1$ , оскільки вісь симетрії параболі розташована ближче до правої межі (рис. 2).

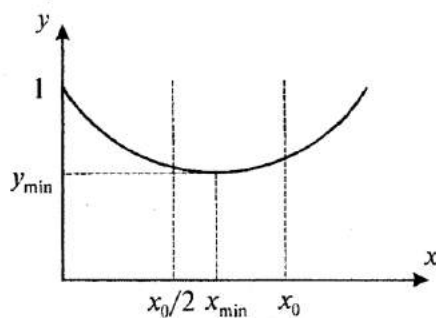


Рис. 2

3. Припустімо, що  $0 \leq x_{\min} \leq x_0/2$ , тобто  $x_0^2 \geq 1$ .

Тоді на проміжку  $x \in [0; x_0]$ , функція  $y(x)$  спочатку зменшується і набуває мінімального значення

$$y = 1 - \frac{1}{4x_0^2}, \quad \text{у точці} \quad x_{\min} = \frac{1}{2x_0},$$

а потім збільшується і набуває максимального значення на правій межі проміжку  $y_{\max} = y(x_0) = x_0^2$ , оскільки тепер вісь симетрії параболі розташована ближче до лівої межі (рис. 3).

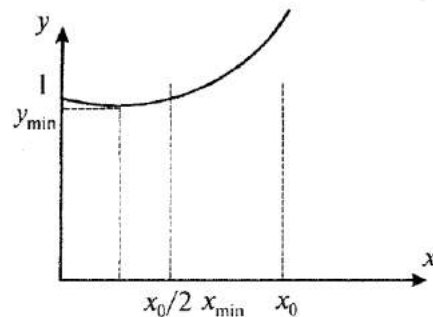


Рис. 3

Повернімось до фізичних величин і подаймо результати у формі таблиці:

$\omega_0^2$	$[0; \varepsilon_0/\sqrt{2}]$	$[\varepsilon_0/\sqrt{2}; \varepsilon_0]$	$[\varepsilon_0; \infty]$
$F_{\min}$	$mR\omega_0^2$	$mR\varepsilon_0 \sqrt{1 - \frac{\varepsilon_0^2}{4\omega_0^4}}$	
$F_{\max}$	$mR\varepsilon_0$		$mR\omega_0^2$

### Задача 2.

Закон збереження енергії для маси  $\Delta M$  газів

$$\Delta M c_p T_k = \Delta M c_p T_c + \frac{1}{2} \Delta M v_r^2,$$

де  $T_k, T_c$  – температури газу в камері та на виході із сопла. Тоді ККД

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \Delta M v_r^2}{\Delta M c_p T_k} = \frac{c_p T_k - c_p T_c}{c_p T_k} = 1 - \frac{T_c}{T_k}.$$

Із рівняння Клапейрона–Менделєєва

$$pV = RT$$

і рівняння адіабатичного процесу





$$pV^\gamma = \text{const}, \text{ де } \gamma = \frac{c_p}{c_v},$$

знаходимо 
$$\frac{T_c}{T_k} = \left(\frac{p_c}{p_k}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}.$$

Отже, 
$$\eta = 1 - \left(\frac{p_c}{p_k}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \approx 0,60.$$

Із закону збереження енергії

$$\frac{1}{2} \Delta M v_r^2 = \eta E,$$

де  $E$  – теплова енергія, що отримана під час хемічної реакції. Одержимо

$$v_r^2 = 2\eta \cdot (13,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}).$$

Звідси, для  $\eta = 0,6$  маємо  $v_r = 3395 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

### Задача 3.

Закон збереження імпульсу

$$Mv - mv = (M + m)u.$$

Звідси швидкість після зіткнення

$$u = \frac{M - m}{M + m} v \approx \left(1 - \frac{2m}{M}\right) v,$$

оскільки  $m/M \ll 1$ .

Початкова орбіта (радіуса  $R$ ) визначає швидкість до зіткнення  $v^2 = \gamma \frac{M_c}{R}$ .

Щоб знайти радіус нової орбіти  $r$ , запишімо закон збереження імпульсу при переході на нову орбіту

$$(M + m)uR = (M + m)Vr,$$

і закон збереження енергії

$$\frac{1}{2} u^2 - \gamma \frac{M_c}{R} = \frac{1}{2} V^2 - \gamma \frac{M_c}{r}.$$

Тут знехтувано малим внеском в енергію від маси астероїда та тепловими втратами при зіткненні. Вилучивши звідси  $V$ , одержимо

$$r = \frac{u^2 R}{\left(\frac{2\gamma M_c}{R}\right) - u^2} = \frac{u^2 R}{2v^2 - u^2}.$$

Підставивши  $u$ , знайдемо

$$r = \frac{1 - 4 \frac{m}{M}}{1 + 4 \frac{m}{M}} R \approx R \left(1 - 8 \frac{m}{M}\right).$$

Оскільки  $\frac{m}{M} = \left(\frac{r_a}{r_3}\right)^3 \approx 10^{-9}$ , то зміна радіуса земної орбіти

$$\Delta r \approx \frac{8m}{M} R = 1,2 \text{ км}.$$

Очевидно, така зміна радіуса орбіти надто мала, щоб вплинути суттєво на клімат Землі.

### Задача 4.

Електричне коло містить  $2N + 1$  резистор. Мережа за означенням є джерелом, напруга на виході якого не залежить від приєднаного до нього навантаження, тобто його внутрішній опір дорівнює нулеві. Вважатимемо, що від моменту приєднання кола до мережі пройшло багато часу, і всі конденсатори повністю зарядились. Тоді сила струму, який проходить через резистори, за законом Ома, дорівнює

$$I = \frac{U}{(2N + 1)R},$$

де  $R$  – опір будь-якого з резисторів кола. За прийнятою у схемі нумерацією елементів, можна твердити, що напруга між пластинами  $i$ -го конденсатора дорівнює напрузі на  $(2i - 1)$  резисторах, тобто

$$\Delta U_i = (2i - 1)IR.$$

Тоді заряд  $i$ -го конденсатора:

$$q_i = C \Delta U_i = CU \frac{2i - 1}{2N + 1}.$$

З цього виразу видно, що заряди конденсаторів утворюють арифметичну прогресію. Сума перших  $N$  членів такої прогресії дорівнює половині добутку суми першого й останнього членів на їх число. Тоді сумарний заряд всіх конденсаторів:



$$Q = \sum_{i=1}^N q_i = \frac{CU}{2N+1} \cdot \frac{1+(2N-1)}{2} N = \frac{CUN^2}{2N+1}$$

**Задача 5.**

Див. розв'язок задачі 4, 9-й клас, 2004 р.

**II клас**
**Задача 1.**

 Миттєве прискорення  $a(v)$  визначається як:

$$a(v) = \frac{F}{m} = \frac{P}{mv}$$

Швидкість знайдемо з того ж рівняння

$$\frac{dv}{dt} = \frac{P}{mv}$$

звідси

$$\frac{mv^2}{2} = Pt,$$

або

$$v(t) = \sqrt{\frac{2Pt}{m}} \quad (1)$$

 Щоб знайти  $v(S)$ , скористайтесь (1):

$$\frac{dS}{dt} = \sqrt{\frac{2Pt}{m}}, \text{ звідси } S = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2Pt^3}{m}},$$

або

$$t = \sqrt[3]{\frac{9S^2 m}{8P}} \quad (2)$$

Підставивши (2) у (1):

$$v = \sqrt[3]{\frac{3PS}{m}}$$

Час досягнення крейсерської швидкості з (1):

$$T = \frac{mv_{\text{кр}}^2}{2} \approx 172 \text{ с.}$$

Відстань, яку пройде поїзд за цей час:

$$S = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2Pt^3}{m}} = 4461 \text{ м.}$$

Середнє значення сили:

$$\bar{F} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P}{v} dt =$$

$$= \frac{P\sqrt{m}}{T\sqrt{2P}} \int_0^T \frac{1}{\sqrt{t}} dt = \sqrt{\frac{2Pm}{T}} \approx 5,65 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

У випадку, коли сила тяги постійна:

$$a = \frac{F}{m} = 0,226 \text{ м/с}^2, \quad t_1 = \frac{v_{\text{кр.}}}{a} = 172 \text{ с,}$$

$$S_1 = \frac{at^2}{2} = 3346 \text{ м.}$$

**Задача 2.**

Кінетична енергія комети має бути достатньою, щоб подолати гравітацію:

$$\frac{mv_{\text{п. крит.}}^2}{2} = \gamma \frac{mM}{r}, \quad (1)$$

 тут  $r$  – відстань до сонця у перигелії.

Звідси швидкість, яка дасть змогу покинути сонячну систему:

$$v_{\text{п. крит.}} = 44,06 \text{ км/с.}$$

Закони збереження моменту імпульсу та енергії:

$$mv_{\text{п}} r = mv_{\text{а}} R,$$

$$\frac{mv_{\text{п}}^2}{2} - \gamma \frac{mM}{r} = \frac{mv_{\text{а}}^2}{2} - \gamma \frac{mM}{R}.$$

 тут  $R$  – відстань до сонця в афелії.

Врахувавши (1), отримаємо:

$$v_{\text{а}}^2 - v_{\text{п. крит.}}^2 = \frac{v_{\text{а}}^2 r^2}{R^2} - \frac{v_{\text{п. крит.}}^2 r}{R},$$

$$v_{\text{а}}^2 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) = v_{\text{п. крит.}}^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right).$$

$$\text{Звідси } R = \frac{r}{\left(\frac{v_{\text{п. крит.}}}{v_{\text{п}}}\right)^2 - 1} = 402 \text{ а.о.}$$

Застосуємо третій закон Кеплера

$$T^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{\gamma M}.$$

 Якщо  $a$  вимірювати в астрономічних одиницях, масу  $M$  в одиницях Сонячної маси і  $T$  у роках, то  $T^2 = a^3$ . Отже,

$$T = \left( \frac{r+R}{2} \right)^2 = 2859 \text{ років.}$$

Отже, наступного разу комета буде в перигелії  $1997 + 2859 = 4856$  року.

Оскільки  $R \sim (v_{\text{п. крит.}}^2 - v_{\text{п. крит.}}^2)^{-1}$  і  $v_{\text{п. крит.}} \approx v$ , то найбільша похибка при обчисленні  $R$  та  $T$  виникає через неточність вирахування швидкості комети у перигелії.

### Задача 3.

За другим законом Ньютона, рівняння руху бруска має вигляд (точка  $x = 0$  відповідає недеформованій пружині):

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx + F_{\tau},$$

або 
$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx + F_0 = 0, & v > 0; \\ m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx - F_0 = 0, & v < 0. \end{cases}$$

Ці рівняння зводяться до рівняння лінійного осцилятора

$$\ddot{z} + \omega_0^2 z = 0$$

замінами 
$$\omega_0^2 = \frac{k}{m};$$

$$z = x + x_0, \text{ для } v > 0, \text{ та } z = x - x_0, \text{ для } v < 0;$$

$$x_0 = \frac{F_0}{k}.$$

Нехай брусок у момент  $t_0$  відхилений у додатний бік. Тоді у наступний момент його швидкість буде від'ємною, тобто відхилення  $z$  від нуля дорівнюватиме  $a - x_0$ . Швидкість надалі буде від'ємною, доки брусок не відхилиться по  $z$  у протилежний бік на таку ж величину. Відповідне відхилення по  $x$  становитиме  $a - 2x_0$ . Отже, за півперіод коливань  $T/2 = \pi/\omega_0$ , амплітуда відхилення зменшилася на величину  $2x_0$ . Продовжуючи аналогічні міркування, можна показати, що за наступний півперіод амплітуда відхилення зменшиться ще на  $2x_0$ . Таке твердження справедливе

доки, доки в момент зупинки віддаль до точки  $x = 0$  буде більша, ніж  $x_0$ . Маятник зупиниться остаточно, коли в момент переходу швидкості через нуль сила тертя спокою переважатиме силу, що діє на брусок з боку пружини, тобто десь між точками  $x = -x_0$  та  $x = x_0$ .

Отже, до зупинки маятник здійснить  $n = [a/2x_0]$  півперіодів коливань, де квадратні дужки позначають цілу частину числа, якщо  $[a/x_0]$  – парне число, і  $n = [a/2x_0] - 1$  півперіодів, якщо  $[a/x_0]$  – непарне. Брусок рухатиметься впродовж часу  $n\pi/\omega_0$ , і зупиниться з координатою  $a - 2nx_0$ , якщо  $n$  – парне, і в точці  $-a + 2nx_0$ , якщо  $n$  – непарне. Якщо  $a \leq x_0$ , маятник взагалі не почне рухатись.

### Задача 4.

Нехай  $Q$  – заряд кулі в певний момент часу,  $I$  – сила струму, який проходить через котушку індуктивності. Тоді напруга на котушці:

$$U = L \frac{dI}{dt} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R}. \quad (1)$$

Із закону збереження заряду

$$dQ = ne\pi R^2 v dt - Idt,$$

знаходимо

$$I = ne\pi R^2 v - \frac{dQ}{dt}, \quad (2)$$

Продиференціюймо (2) по часу і підставмо  $dI/dt$  в (1):

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} = -\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 RL}. \quad (3)$$

Рівняння (3) описує гармонічні коливання з частотою

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 RL}}.$$

У початковий момент ( $t = 0$ )

$$Q = 0, \quad \frac{dQ}{dt} = Q_{\text{max}} \omega = ne\pi R^2 v,$$

звідси 
$$Q = Q_{\text{max}} \sin \omega t,$$

де 
$$Q_{\text{max}} = ne\pi R^2 v \sqrt{4\pi\epsilon_0 RL}. \quad (4)$$



Продиференціювавши рівняння (4) по часу і підставивши в (2), отримаємо

$$I = ne\pi R^2 v (1 - \cos \omega t).$$

Графік шуканої залежності зображено на рис. 1,

де  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{4\pi\epsilon_0 RL}$ ,  $I_m = ne\pi R^2 v$ .

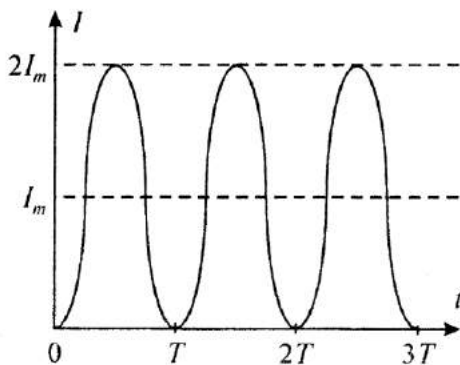


Рис. 1.

**Задача 5.**

Спочатку визначимо швидкість опускання апарата. Зауважмо, що зміна тиску  $\Delta p$  зі зміною висоти  $\Delta h$  пов'язані співвідношенням:

$$\Delta p = -\rho g \Delta h, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина газу. Із рівняння Клапейрона випливає, що  $p = \frac{\rho}{\mu} RT$  (тут  $T$  – температура саме в тій точці, поблизу якої ми цікавимося зміною тиску). Враховуючи, що  $\Delta h = -v \Delta t$ , де  $v$  – швидкість опускання апарата,  $\Delta t$  – час опускання, можна записати вираз (1) у вигляді

$$\frac{\Delta p}{p} = g \frac{\mu v \Delta t}{RT}. \quad (2)$$

Знаючи відношення  $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ , тобто тангенс кута нахилу дотичної в кінцевій точці  $A$  графіка, за допомогою співвідношення (2) знайдемо швидкість

$v$ . Однак, оскільки у лівій частині (2) стоїть відношення  $\frac{\Delta p}{p}$ , то нам байдуже, який масштаб гра-

фіка по осі ординат. Знайшовши з графіка  $\frac{\Delta p}{p \Delta t}$

та підставивши  $\mu = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$  для  $\text{CO}_2$ , одержимо, що швидкість спускання апарата космічного корабля дорівнює

$$v = \frac{RT}{g \mu} \cdot \frac{\Delta p}{p \Delta t} \approx 13,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Отже, на висоті  $h = 15$  км над поверхнею планети він був приблизно за 1150 с до посадки, тобто цьому відповідає час  $t = 2700$  с. За допомогою

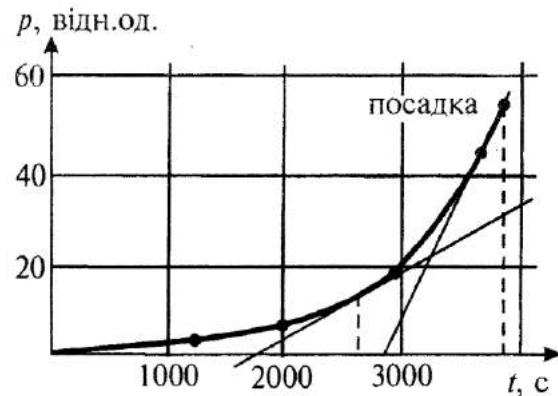


Рис. 1.

співвідношення  $\frac{\Delta p}{p \Delta t}$  у цій точці графіка з виразу

(2) знайдемо шукану температуру  $T_h$ :

$$T = \frac{g \mu v}{R} \cdot \frac{p \Delta t}{\Delta p} \approx 560 \text{ К.}$$

Розв'язки підготував  
**Віталій Лесівців**



Журнал „Світ фізики” започатковує нову рубрику „Фізика для наймолодших”, у якій Мудрагелик пояснюватиме Вам різні фізичні явища, розв’язуватиме з Вами задачі, даватиме домашні завдання, проводитиме конкурси, ігри тощо. Пропонуємо Вам низку занять „Досліди Мудрагелика” від учителя фізики, автора декількох книжок з цікавими експериментальними завданнями Валерія Старощука. Запрошуємо до співпраці учителів, науковців, школярів, студентів та всіх, кому цікаво навчати дітей, розвивати в них допитливість, вчити думати, а також любити фізику – одну з найпрекрасніших наук.

*Звертаємось до наймолодших:*

– Якщо Ви маєте цікаві пропозиції як назвати нашого Мудрагелика, то надсилайте їх на адресу редакції журналу. На переможця чекає цікавий приз.

# Досліди Мудрагелика

Валерій Старощук,  
учитель фізики СЗШ № 3 м. Києва

## Заняття 1. Спочатку було яйце...

Подивімося на куряче яйце. Воно здається нам звичайним, тому що ми звикли до нього. Але якщо поглянути на нього очима Мудрагелика...

### Дослід 1

*Мета:* оцінити силу, яку витримує яйце під час стискування рукою.

*Для проведення дослідю треба мати:* одне куряче яйце, два прозорі поліетиленові мішечки, силу в руках.

Завдяки своїй формі яйце витримує значні навантаження. Спробуйте розчавити яйце руками. Для цього одягніть мішечок на руку, щоб не забруднити її, якщо яйце все ж таки вдасться розчавити. Обхопіть яйце пальцями з усіх боків, як зробив Мудрагелик на мал. 1. Надягніть другий мішечок на руку, щоб вміст яйця не забруднив вашого одягу, і тисніть, поступово збільшуючи силу тиску. Цікаво, чи вистачить сили вашої руки?

### Мудрагелик:

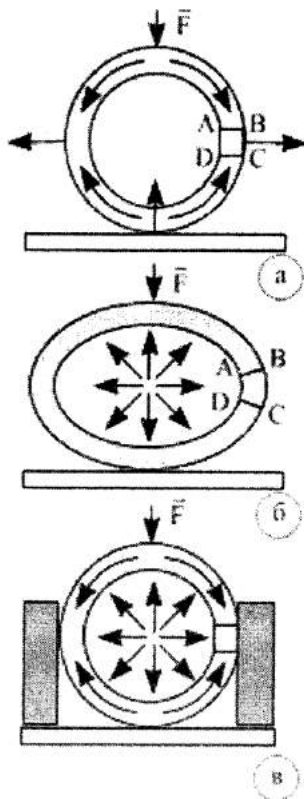
„Дехто думає, що найголовніше в цьому досліді – розчавити яйце і тиснуть лише двома пальцями, збільшуючи тиск на окремих ділянках. Не обманюйте себе, прочитайте ще раз мету дослідю. Яйце нам буде потрібне для наступних дослідів.”



Мал. 1

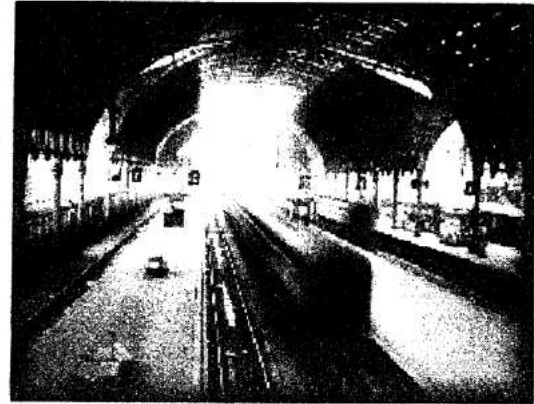
### Пояснення явища

Завдяки овальній формі яйця, тиск на поверхню в одному місці перерозподіляється на інші ділянки. При цьому змінюється характер деформації. Замість деформації прогину ми отримуємо деформацію стиску. Під час деформацій стиску багато матеріалів витримують значні навантаження. Розгляньмо кільце,



Мал. 2

яке стискають силою  $F$  (мал. 2, а). Внаслідок дії зовнішніх і внутрішніх сил, ділянка ABCD змінює форму (мал. 2, б). Очевидно, що зовнішній бік ділянки (BC) зазнає деформації розтягу. Відстань між молекулами стає більшою, і вони взаємодіють з меншими силами. Це зменшує міцність поверхні кільця на цій ділянці. Якщо уявити, що на мал. 2, б зображено переріз курячого яйця, то під дією внутрішнього тиску прорив оболонки слід очікувати саме на ділянці BC. Якщо обмежити рух оболонки в горизонтальному напрямі (не дати можливості змінювати форму конструкції), як зображено на мал. 2, в, то вся оболонка зазнаватиме деформації стиску. Відстань між молекулами на будь-якій ділянці стане меншою, що призведе до збільшення міцності матеріалу і конструкції. У такому стані конструкція



Мал. 3

може витримати значні навантаження. Тому так важко розчавити яйце, якщо тиснеш на нього з усіх боків.

На мал. 3 ми бачимо залізничний вокзал з дахом у вигляді арки (частини кільця). Такі дахи можуть перекривати великі площі й витримувати не лише свою вагу, а й значні зовнішні навантаження (сніг, пориви вітру). Такі дахи не треба підтримувати із середини стовпами.

### Дослід 2

**Мета:** перевірити міцність лампочки розжарювання.

**Для проведення дослідження треба мати:** лампочку розжарювання сферичної форми на 60–100 Вт (може бути перегоріла), скляну банку об'ємом 0,25 л (з-під майонезу або дитячого соку), взуття на товстій підшві й хоробрість, щоб це зробити.

### Примітка.

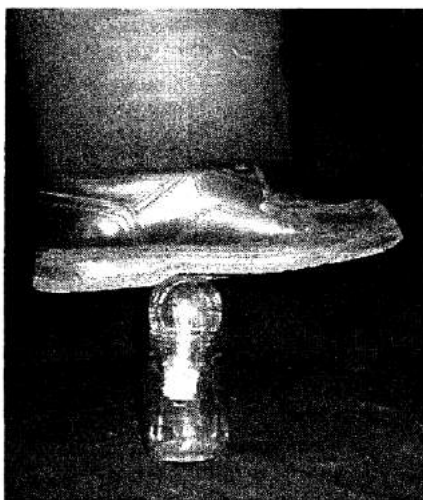
Виконувати цей дослід треба обов'язково у взутті з товстою підшвою. Деколи скло лампочки має тріщинки, або людина втрачає рівновагу, стоячи на лампочці. Це призводить до того, що скло не витримує навантаження і тріскається.





Мал. 4

Розмістіть на підлозі біля стола банку з лампочкою (мал. 4). Поставте на лампочку ногу, як зображено на мал. 5. Тримаючись за стіл руками, повільно перенесіть вагу тіла на лампочку. Підтримуючи рівновагу тіла, відірвіть другу ногу від підлоги, а далі й руки від



Мал. 5

стола. На диво, ви будете стояти на лампочці, товщина скла якої становить лише 0,3 мм!

### Запитання

1. Що спільного між яйцем, батискафом, черепом людини і першим штучним супутником Землі?
2. Відомий російський художник І. Шишкін зобразив панораму старого німецького міста Дрезден (мал. 6). Знайдіть три приклади використання будівельниками круглих форм.
3. Гумова надувна кулька також є округла, але стиснути її неважко. Чому?
4. Куряче яйце має кілька оболонок. Щоб позбутися твердої вапняної оболонки, покладіть яйце на 12 годин у 9% розчин оцту. Яку тоді форму матиме яйце? Чому?

### Домашнє завдання

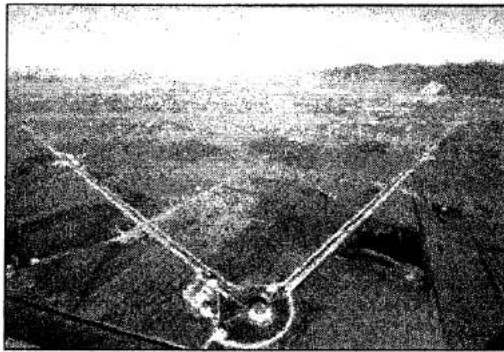
1. Покладіть сире куряче яйце в морозильну камеру на одну добу. Опишіть, що з ним сталося. Спробуйте пояснити, чому.
2. Обчистіть замерзле яйце від шкаралупи і розгляньте його внутрішню будову. Для цього треба дивитися на лампочку розжарювання або свічку крізь яйце в затемненій кімнаті. Замалюйте те, що ви побачили.



Мал. 6

3. Дайте яйцю розтанути у склянці, а тоді зробіть собі яечню. Доки вона готується, поміркуйте над тим, чому ми смажимо на олії, а не на воді?

## VIRGO починає роботу

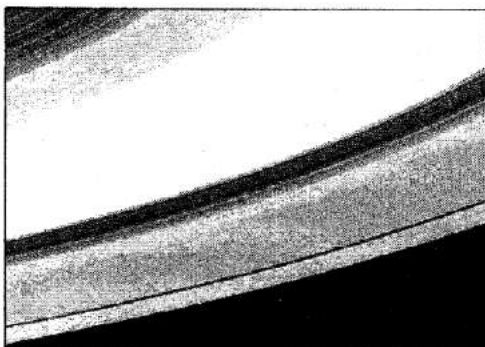


Новий детектор гравітаційних хвиль почав працювати в Італії недалеко від Пізи. Це є спільний італійсько-французький проєкт. Теорія відносності передбачає існування гравітаційних хвиль, які виникають під час прискорення величезних тіл і поширюються зі швидкістю світла. Для виявлення гравітаційних хвиль використовують інтерферометричні детектори. Під час проходження гравітаційних хвиль простір має розширюватися в одному напрямку і стискатися в іншому, перпендикулярному до першого. Це має змінити довжину оптичного шляху в інтерферометрі.

Гравітаційні хвилі дуже слабкі, навіть ті, що йдуть від таких астрофізичних джерел, як вибухи наднових чи зіткнення нейтронних зір і чорних дір. Величина зміни віддалі, зумовлена проходженням гравітаційних хвиль – майже 10–18 м. Щоб виявити такі зміни, треба мати дуже чутливий детектор.

Детектор має бути сейсмічно ізольованим від довкілля, у ньому має використовуватись надвисокий вакуум, найкращі дзеркала й інші оптичні компоненти. VIRGO складається переважно з інтерферометра Майкельсона з двома плечами завдовжки по 3 км. Багаторазові відбивання збільшують ефективний оптичний шлях у кожному плечі до 120 км. VIRGO пройшов попередні випробовування і записує дані впродовж декількох місяців. Він приєднається до глобальної мережі детекторів гравітаційних хвиль, яка вже містить два детектори LIGO (завдовжки 4 км) у США, GEO600 у Німеччині (600 м) і TAMA в Японії (300 м). [www.scinews.ru/physics](http://www.scinews.ru/physics)

## Сатурн зблизка

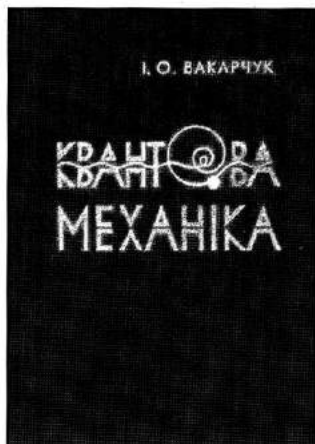


За дев'ять днів після прибуття на орбіту Сатурна, космічний апарат Cassini сфотографував і передав на Землю кольорові фотографії його кільця високої якості. Світлина була зроблена камерою з вузькофокусним об'єктивом, коли Cassini пролітав нижче від площини кільця, на віддалі 6,4 млн. км. Роздільна здатність фотографій становить 38 км на піксель.

Кільця Сатурна позначають латинськими буквами від А до Г. Найяскравіша частина є кільце В, у якому багато смуг мають чіткий пісковий відтінок. Раніше кольорові варіанти кільця Сатурна були зафіксовані на світлинах, які зроблено космічним апаратом Voyager та орбітальним телескопом Hubble. Кільця Сатурна – це переважно замерзла вода. Оскільки чистий лід має білий колір, науковці припускають,

що кільця мають різні кольори завдяки вкрапленню інших речовин, зокрема, гірських порід і вуглеводню. Порівнюючи ці дані з даними, що отримали іншими методами, зроблені Cassini фотографії допоможуть науковцям визначити склад різних частин кільця Сатурна. Багато темної породи знайдено і в кільці F, і в маленьких щілинах між кільцями. Чистота (лід) кільця А і В, поряд з „брудом“ кільця F, як у подібність цих порід із складом Фебі – велика загадка. На краю кільця апарат виявив багато атомарного кисню, який розподілений нерівномірно, а з одного боку – інтенсивно втікає в космос – що примусило дослідників припустити недавнє (буквально в момент прибуття Cassini) зіткнення з кільцями якогось об'єкта. У площині кільця також виявлено велику кількість пилу, частинки якого співмірні за розміром із частинками цигаркового диму. Спеціальні прилади фіксували зіткнення таких пилинок із кораблем. У момент перетину кільця він отримав 100 тис. таких зіткнень менше ніж за 5 хв. Уперше вдалось виміряти швидкість вітрів на Сатурні залежно від висоти. З'ясувалось, що понад хмарами вони сповільнюються – на 140 м за секунду на висоті 300 км (від межі хмар). Було також отримано нові фотографії Титана – і у видимому діапазоні, і на різних частотах інфрачервоної ділянки спектра. Отже, науковцям вдалось проникнути крізь густу атмосферу цього супутника і побачити багато особливостей: поверхня, покрита льодом і вуглеводнем, дивна хмарка метану на південному полюсі (його частинки набагато більші, ніж звичайний для планети метановий туман), а ще – пляма на півночі, яка може бути кратером. Титан чимось подібний до ранньої Землі, кажуть дослідники, там напевно є прості органічні молекули.

Місія Cassini-Huygens – це спільний проєкт NASA, Європейського та Італійського космічного агентств. Керує програмою Лабораторія реактивного руху, яка входить до складу Каліфорнійського технологічного інституту в Пасадені. Розшифруванням фотографій займається Інститут космічної науки в Боулдері (штат Колорадо).



**Вакарчук І. О. Квантова механіка:** /Підручник. 2-ге вид., доп. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 784 с.

У підручнику подано послідовний виклад фізичних основ і математичного апарату квантової механіки та її застосування до різних задач. Матеріал книжки відповідає стандартній університетській програмі курсу квантової механіки й охоплює всі її розділи. Фактично – це підручник з канонічного курсу „Квантова механіка”, який є частиною загального курсу „Теоретична фізика” для студентів III–IV курсів фізичних спеціальностей університетів. Особливу увагу приділено численним ілюстраціям зв'язку фізичних явищ із фундаментальною величиною – хвильовою функцією та її фазою, принципів суперпозиції, філософському трактуванню ймовірнісної концепції квантової механіки, квантовій інформації. Подано також багато прикладів-задач, серед яких поряд із традиційними є оригінальні й такі, що їх, звичайно, не дають до підруч-

ників. Розв'язки цих невеличких проблем дадуть змогу читачеві глибше зрозуміти основний матеріал і контролювати його засвоєння. Нарис творення квантової механіки та історичні екскурси, що супроводжують основний матеріал, містять знання, які є неодмінним елементом культури фізика. Невід'ємною частиною підручника є відступи та примітки, де подано цікаві задачі, може й несподівані, наведено аналогії з класичної механіки, теорії музики, мистецтва... Мета цього – звернути увагу читача на зв'язки між різними явищами, що охоплюють і людську діяльність, та продемонструвати силу й універсальність математики в їх аналізі.

Для студентів, аспірантів, науковців. Корисний також для викладачів і всіх, хто цікавиться квантовою фізикою.

**Венгер Є. Ф., Гончаренко А. В., Дмитрук М. Л. Оптика малих частинок.**

– Київ: Наук. думка, 1999. – 348 с.

У монографії відображено головні питання теорії та експериментальних досліджень оптичних і діелектричних властивостей малих частинок і дисперсних середовищ (композитів). Розглянуто основні методи і підходи до опису взаємодії електромагнетного випромінювання з речовиною в диспергованій фазі та обговорено різноманітні аспекти цієї взаємодії.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, що спеціалізуються в галузі оптики малих частинок, низьковимірних і розупорядкованих структур, а також для аспірантів і студентів старших курсів фізичних спеціальностей.

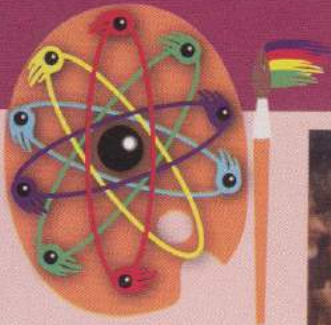


*Світ  
фізики*

Приймаємо замовлення на книжки та журнал „Світ фізики” за адресою:

вул. Саксаганського, 1  
м. Львів, 79005, а/с 6700  
phworld@franko.lviv.ua





МИСТЕЦЬКА  
СТОРІНКА  
ЖУРНАЛУ  
"СВІТ ФІЗИКИ"



**Й. П. Курилас**  
(1870–1951).  
**На Гуцульщині**

**Й. П. КУРИЛАС** – живописець і графік, один із засновників українського модерного релігійного мистецтва. Народився у м. Щирці на Львівщині (тепер Пустомитівського р-ну Львівської обл.). Мистецьку освіту здобув, навчаючись у Львівській художньо-промисловій школі (1895–1900 за іншими даними, 1898–1900). Під час Першої світової війни Й. П. Курилас перебував у складі відділу Українських Січових Стрільців на австро-російському фронті, де в польових умовах створив низку портретів, батальних картин та замальовок із стрілецького життя, зокрема картини "Маківка", "Битва на Лисоні" та ін. У міжвоєнний час працював у галузі жанрового та портретного живопису. Автор творів на релігійну тему ("Богородиця", "Преображення"), портретів (Т. Шевченка (1918), А. Шептицького, князя Володимира), жанрових полотен ("Жebraки" (1895), "Сільська дівчина" (1898), "Бездомні" (1914), "Гуцульська пара" (1937), "На Гуцульщині" (1942), "Лісоруби" (1947) та ін.), ілюстрації до оповідань В. Стефаника "Кленові листки" та "Новина", читанок та букварів. Й. Курилас створив декілька відомих іконостасів у Галичині та Америці.

**Серія книжок «Підручники»  
Львівського національного університету імені Івана Франка**



Придбати книжки можна за адресою: 79005 м. Львів, вул. Саксаганського, 1