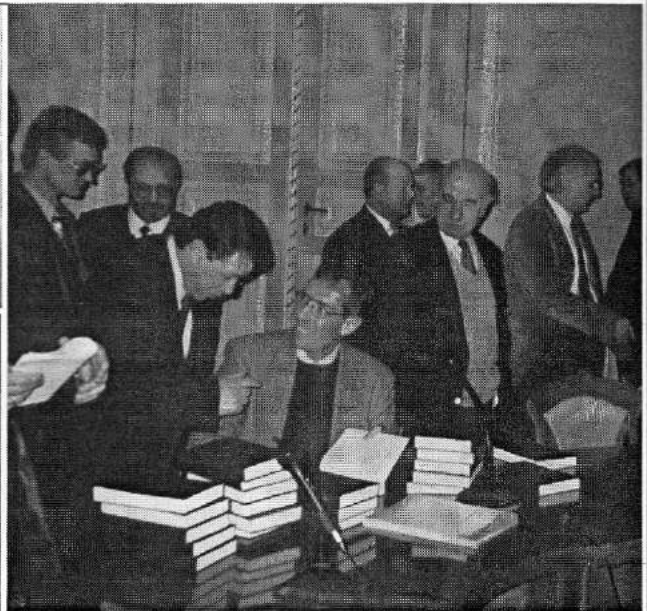
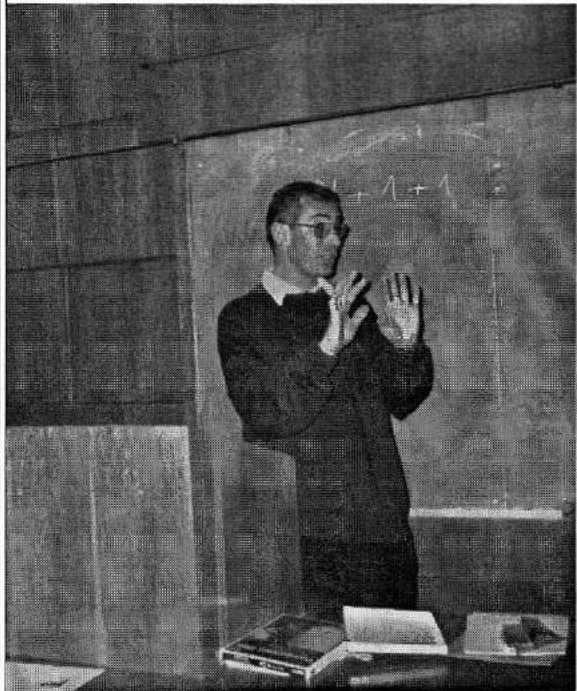
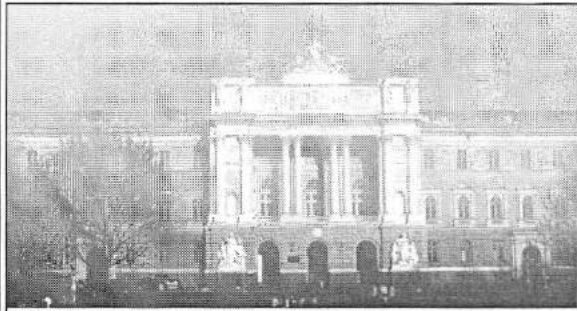


С В І Т  
ФІЗИКИ №1  
2000  
науково-популярний журнал

2000 рік  
оголошений ЮНЕСКО  
роком Смакули







21 лютого 2000 року у Львівському національному університеті імені Івана Франка відбулася презентація книжки „Класична механіка” професора університету Йоганна Кеплера в Лінці (Австрія) Гаральда Іро, яка вийшла у Львові. Ця книга витримала три видання у Австрії, незабаром вийде четверте. Особливістю українського її перекладу є те, що вона вийшла в Україні раніше, ніж аналогічне видання німецькою мовою в Австрії. Крім того, її бібліографія

доповнена й українськими джерелами з питань класичної механіки. Ця книга уособлює плідну співпрацю Львівського національного університету імені Івана Франка, Інституту фізики конденсованих систем НАН України у Львові та Інституту теоретичної фізики університету Йоганна Кеплера в Лінці. Вихід цієї книжки помітне явище у виданні наукової літератури в Україні. На презентації були присутні провідні учені, діячі культури, викладачі вищих навчальних закладів.

Наступного дня проф. Гаральд Іро прочитав лекцію для студентів фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка та відвідав редакцію журналу „Світ фізики”, де зустрівся з колективом редакції та залишив для наших читачів привітання і статтю за матеріалами своєї лекції, яка буде опублікована у наступних числах журналу „Світ фізики”.

To the readers of the  
Journal  
СВІТ ФІЗИКИ  
Classical mechanics, the  
entrance to (theoretical)  
physics is still interesting  
and still alive

*H*



# СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

1(9) '2000

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'ютерний набір і верстка

СП “Євросвіт”

**Адреса редакції:**

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Сакаганського, 1,

79005 м. Львів,

Україна

тел./факс 380 0322 72 68 11

sf@ktf.franko.lviv.ua

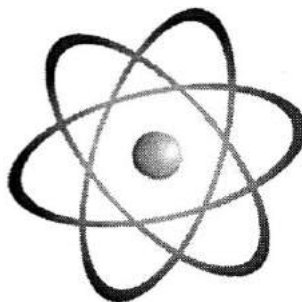
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

*Рішенням 30-ї сесії Генеральної конференції ЮНЕСКО до списку річниць видатних діячів освіти, науки, культури та історичних подій, у відзначенні яких у 2000-2001 роках візьме участь ЮНЕСКО, включено відзначення у 2000 році 100-літнього ювілею від дня народження видатного українського науковця Олександра Смакули.*

*В Україні згідно з Постановою Кабінету Міністрів 100-річний ювілей Олександра Смакули відзначатиметься на державному рівні.*

*У вересні цього року у м. Тернополі пройдёт II Міжнародний Смакуловий симпозиум, на батьківщині ученого буде поставлено пам'ятник, створюється фільм, будуть видані його наукові праці тощо.*

*Журнал „Світ фізики” упродовж 2000 року планує познайомити читачів з видатним ученим із світовим іменем Олександром Смакулою, опублікувавши його біографію, деякі з його праць, інформацію з II Міжнародного Смакулового симпозиуму.*



**Передплатний індекс 22577**

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

© СП “Євросвіт”

# ЗМІСТ

## **1. Нові і маловідомі явища фізики**

Смакула Олександр. Про винайдення способу зменшення відбивання світла  
Боднарчук Ярослав, Крисюк Данило, Липський Володимир. Цей дивний світ газових лазерів  
Шона Ярослав. Телескопи на Землі і в космосі

## **2. Про фізиків України**

Попель Олександр. Василь Міліянчук

## **3. Фізика світу**

Кияк Богдан. Смакулова гора

## **4. Університети світу**

Михаленко Леся. Університет „Острозька академія”

## **5. Актуальні проблеми ...**

Сумарук Олександра. Що чекає „майбутнього Вашингтона” у глухому селі  
Гнатик Богдан. Слово про учителя

## **6. Нобелівські лауреати**

Гальчинський Олександр. Полювання за кварками ...

## **7. В допомогу абітурієнту**

Як стати фізиком майбутнього?

## **8. Олімпіади, турніри ...**

Теоретичні завдання III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (2000)

## **9. Творчість юних**

Білий Ростислав. Спектри поглинання лігандних форм гемоглобіну

## **10. Олімпіади, турніри ...**

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (2000)

## **11. Реальність і фантастика**

Гальчинський Олександр. Кульова блискавка

3

8

13

16

20

23

26

28

29

32

36

39

41

47





До 100-річчя від дня народження  
Олександра Смакули

# ПРО ВІНАЙДЕННЯ СПОСОБУ ЗМЕНШЕННЯ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА\*

Олександр СМАКУЛА

„...Після обговорення погіршень зображення, зумовлених відбитим світлом в оптичних приладах, описано винайдення способу зменшення відбивання світла, яке зробив автор у Карл Цейс, Єна, 1935 року. Після цього дискутуються основи і значення зменшення відбивання світла і вказується на новітні досягнення у цій сфері.

Зменшення відбивання світла використовується сьогодні майже в усіх оптичних приладах. Колір відбитого світла є видимою ознакою цього. Користь від зменшення відбивання світла є поза всяким сумнівом, проте існує деяка неясність, що виникла під час його винайдення. Тому я сам хочу повідомити про цей винахід і про його подальший розвиток.”

## 1. Відбивання світла від оптичних поверхонь та його шкідлива дія

Сучасні оптичні прилади містять, як правило, велику кількість оптичних елементів (пластинок, лінз, призм). Під час проходження світла крізь оптичну систему на кожній межі поверхні розділу між двома середовищами з різними показниками заломлення відбивається частина світла. Відбивання може бути дифузним (розсіяним) або дзеркальним. Дифузне відбивання буває тільки від шорстких поверхонь. Воно взагалі значно важливіше, ніж дзеркальне відбивання. Тому в оптичних приладах має значення тільки дзеркальне відбивання. Величина відбивання залежить від показника заломлення скла, від напрямку площини поляризації відносно відбиваючої поверхні і від кута падіння. Величина відбитого світла обчислюється за формулою Френеля. Особливо простим є розрахунок при перпендикулярному

падінні світла на плоску поверхню. Для поверхні на межі розділу між повітрям і склом коефіцієнт відбивання  $r^2$  дається формулою (1):

$$r^2 = \left( \frac{n_g - 1}{n_g + 1} \right)^2, \quad (1)$$

де  $n$  - показник заломлення скла.

Для більшості оптичних стекел значення  $n$  лежить між 1,5 та 1,8 і відповідно  $r^2$  між 4 та 8%. На цю величину світло послаблюється при кожному переході через межу між повітрям і склом. Залежність коефіцієнта відбивання від показника заломлення світла зображено на рис. 1.

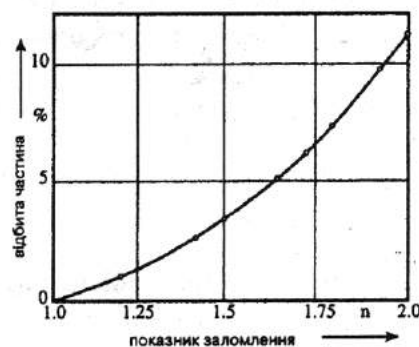


Рис. 1. Коефіцієнт відбивання світла при перпендикулярному падінні на поверхню скла як функція показника заломлення

Якщо  $m$  поверхонь з тим самим показником заломлення розміщені одна за одною, то загальні втрати на відбивання становлять:

$$R = 1 - (1 - r^2)^m. \quad (2)$$

\* Лекцію, яку прочитав професор Олександр Смакула (директор лабораторії фізики кристалів, МТІ, Кембрідж, Массачусетс, США) 4 жовтня 1966 року в Кельні з нагоди присудження йому премії німецького фотографічного товариства за 1966 рік.



Збільшення коефіцієнта відбивання з ростом числа відбивних поверхонь зображено на рис. 2. Для показника заломлення 1.5 втрати при відбиванні становлять при 10 поверхнях – 40 %, при 18 поверхнях – 60 % і при 30 поверхнях – 80 %. Насправді втрати є навіть більшими, бо найчастіше світлові промені падають на межу розділу під іншими, ніж нуль, кутами, і тому відбивання більше.

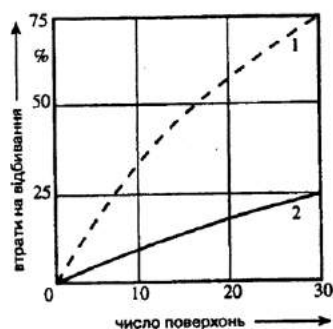


Рис. 2. Втрати на відбивання при перпендикулярному падінні світла залежно від кількості відбивних поверхонь (крива 1 для 4 % відбивання на одній поверхні; крива 2 для 1 % відбивання на одній поверхні)

Відбите світло зменшує не тільки яскравість зображення, а й призводить до виникнення ще двох наступних небажаних ефектів: розсіяння світла і появи смуг навколо зображень. Багатократно відбите світло внаслідок довшого оптичного шляху не сприяє якісному зображенню. Воно потрапляє у площину зображення як розсіяне світло, що накладається на зображення і зменшує його контрастність. Інтенсивність розсіяного світла збільшується зі збільшенням кількості меж розділу поверхонь, її можна приблизно обчислити. Беручи до уваги багатократне відбивання, пропускання  $D$  набору пластинок з  $m$  відбивними поверхнями

$$D = \frac{1 - r^2}{1 + (m - 1)r^2} \quad (3)$$

$D'$  без урахування багатократного відбивання:

$$D' = (1 - r^2)^m \quad (4)$$

Різниця між  $D$  і  $D'$  розсіяного світла становить:

$$S = D - D' \quad (5)$$

На рис. 3 наочно зображено збільшення розсіяного світла при збільшенні кількості поверхонь. Світло, відбите всередину оптичної системи, може давати більш або менш чіткі смуги навколо зображення. Кількість побічних зображень  $z$  визначається за формулою:

$$z = \frac{m(m - 1)}{2} \quad (6)$$

Деякі добре виправлені фотооб'єктиви через побічні зображення раніше були непридатними.

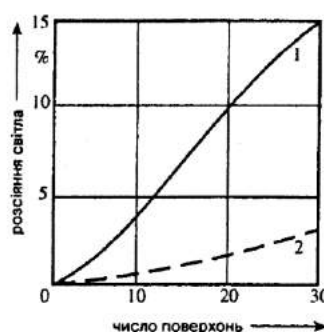


Рис. 3. Розсіяння світла залежно від кількості відбивних поверхонь (крива 1 для 4 % відбивання на одну поверхню; крива 2 для 1 % відбивання на одну поверхню)

## 2. Винайдення способу зменшення відбивання світла

Шкідливі дії відбитого світла відомі з часу винаходу оптичних приладів. Це тривало доти, поки не був зроблений перший крок до звільнення від цього шкідливого світла. Я зробив цей крок 1935 року у фірмі Карл Цейс в Сні.

Коли восени 1934 року я прибув до фірми Цейс, то зайнявся спочатку виготовленням монокристалів для оптичних цілей. У той час особливий інтерес як заміники плавикового шпату представляли флюорид літію (LiF) і флюорид натрію (NaF). Обидва кристали відзначалися досить низьким показником заломлення світла, особливо флюорид натрію. Тоді я дізнався про погіршення зображення в оптичних приладах, спричинених відбитим світлом. Моєю першою думкою було покрити кожну скляну поверхню матеріалом з низьким показником заломлення





світла, наприклад, флюоридом натрію. Цим можна було зменшити відбивання приблизно на 2 %, не беручи до уваги інтерференцію.

Наступним питанням було: як нанести рівномірно флюорид натрію на скляну поверхню. Оскільки я мав досвід виготовлення тонких металевих шарів (плівок), то виникла думка застосувати цей метод. Проведені влітку 1935 року дослідження показали, що можна практично повністю усунути відбивання. Для технічного застосування треба було розв'язати ще деякі проблеми. Три фактори мали суттєвий вплив у цій роботі:

1. Контакт з іншими ученими, які займалися виготовленням оптичних приладів.
2. Робота над кристалами з низьким показником заломлення.
3. Досвід випаровування у вакуумі.

Перехід від винаходу до конвеєрного виробництва вимагав розв'язання різних проблем, які були подолані за відносно короткий час, так що конвеєрне виробництво змогло розпочатися ще 1936 року.

### 3. Умови для максимального зменшення відбивання світла

Головною проблемою було визначити оптимальні умови для зменшення відбивання світла. Одним із найважливіших факторів був підбір матеріалу. Вже попередні дослідження показали, що поряд із показником заломлення суттєвий вплив на зменшення відбивання має товщина шару і що йдеться про явище інтерференції. Це стане зрозумілим, коли розглядати світло як хвилю. Для спрощення візьмімо скляну пластину з показником заломлення  $n_g$  і нанесімо на неї шар прозорої речовини з показником заломлення  $n$ . Світло повинно бути монохроматичним з довжиною хвилі  $\lambda$ .

Падаюче світло відбивається частково від межі розділу між повітрям і шаром, а також між шаром і склом. Накладання цих хвиль може, згідно з умовою інтерференції, призвести до гасіння, коли амплітуди двох хвиль є однаковими і коли хвилі зміщені одна відносно одної на половину довжини хвилі. При цьому повинні виконуватися дві умови: умова амплітуд й умова фаз [1]. Перша умова виконана, коли

$$n_s = \sqrt{n_g} \quad (\text{умова амплітуд}). \quad (7)$$

Показник заломлення шару повинен бути відповідним кореневі з показника заломлення скла. Друга умова така:

$$n_s d_s = \frac{\lambda}{4} (2x + 1) \quad (\text{умова фаз}), \quad (8)$$

де  $x = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ . Рівняння (8) показує, що оптична товщина шару  $n_s d_s$  повинна бути кратна непарній кількості чвертей довжини хвилі світла.

Умова фаз легко виконується, якщо промені падають на поверхню розділу перпендикулярно. Виконати умови амплітуд значно важче. Воно вимагає матеріалів з показником заломлення між 1,22 і 1,35. З відомих матеріалів флюорид натрію має найменший показник заломлення у видимій області, а саме 1,326 для  $\lambda = 589$  нм. Отже, з флюоридом натрію можна повністю позбутись відбивання лише для оптичних елементів з показником заломлення  $n_g = 1,74$ . На жаль, флюорид натрію практично не придатний через свою високу розчинність у воді. Крім цього, в ідеальному випадку треба було б для кожного сорту оптичного скла підбирати відповідний показник заломлення шару. Показник заломлення шару можна зменшувати в певних межах. Відповідно до формули Лорентц-Лоренц-Формеля - [2]:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \text{const} \cdot \rho, \quad (9)$$

де  $\rho$  - густина матеріалу. Через випаровування в низькому вакуумі шари стають пористими, а це означає, що вони мають меншу густину, і тому нижчий показник заломлення. Але пористі шари мають недолік – вони нестійкі і легко вбирають воду або інші пари, через що зменшується їх показник відбивання.

Загальнопридатним матеріалом виявився криоліт  $[3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_2]$  з показником заломлення  $n_s = 1,339$ , що вже роками використовується в Єні для покращення внутрішніх поверхонь.

Для зовнішніх поверхонь використовується флюорид магнію ( $n_s = 1,38$ ), що також вживається тепер і для внутрішніх поверхонь. Однак флюорид магнію ( $\text{MgF}_2$ ) має більший показник заломлення, ніж криоліт, через що зниження відбивання дещо менше, а міцність зчеплення і твердість краща, ніж у криоліті. Додатково можна підвищувати міцність зчеплення і твердість шарів через дегазацію скляних поверхонь в газовому розряді й наступною термообробкою.



Дотепер зменшення відбивання обговорювалось лише для монохроматичного світла. Для широкої області довжин хвиль рівномірно зменшити відбивання на одному шарі неможливо. Праворуч і ліворуч від мінімального положення частка відбитого світла зростає. Оскільки у візуальних оптичних приладах нульове положення лежить біля 550 нм (максимальна чутливість ока), то покращена (покрита плівкою, просвітлена) поверхня у відбитому світлі виглядає фіолетовою. Різні кольори оптичних стекел виникають унаслідок накладання відбитого світла на короткохвильових і довгохвильових сторонах мінімуму. Відбита частина білого світла не відіграє суттєвої ролі, тому що чутливість людського ока хроматично-селективна; око має, так би мовити, фільтр з півшириною пропускання близько 100 нм з максимумом при 550 нм.

Відповідно до фазових умов мінімум відбивання настає тоді, коли оптична товщина шару кратна непарному числу  $\lambda/4$ . Перший мінімум знаходиться біля  $\lambda/4$ , наступний – біля  $3\lambda/4$  і т. д. Виникає запитання, який вплив має товщина шару на спектральний розподіл зменшення відбивання. Як показує рис. 4, для розширеної спектральної області просвітленої оптики шар  $\lambda/4$  є кращий, ніж шар  $3\lambda/4$ .

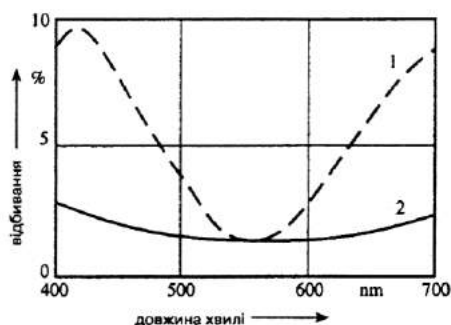


Рис. 4. Спектральна характеристика відбивання від покращеної (покритої плівкою) скляної поверхні (крива 1 - товщина шару  $3\lambda/4$ ; крива 2 - товщина шару  $\lambda/4$ )

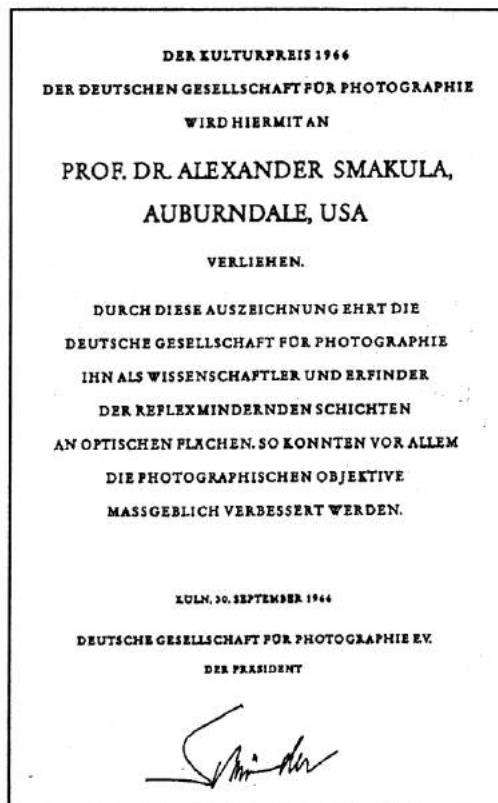
#### 4. Нанесення шарів (плівок)

Дотримання товщини шару досягається шляхом випаровування певної кількості речовини в таких заздалегідь експериментально знайдених умовах, як вакуумний тиск, швидкість випаровування, віддаль між джерелом випаровування і поверхнею

скла, а також температура поверхні скла. Безпосередній контроль за виготовленими плівками здійснюють, візуально порівнюючи колір світла, відбитого від плівки і від еталонних зразків.

При оптимальній товщині шару на слабо заломлюючих стеклах колір плівки є слабофіолетовим, а при сильно заломлюючих – насичено фіолетовим. Рівномірність товщини шару на всій оптичній поверхні досягається шляхом особливого розміщення просвітлюваних оптичних елементів і джерел випаровування. Особливих зусиль вимагають малі, сильно випуклі поверхні лінз мікроскопів.

Для технічного виробництва просвітлюючих шарів треба розробити високопродуктивні апарати, які були б простими в експлуатації, але працювали б надійно і швидко. Відповідно до тодішнього технічного рівня для створення розрідження використовувались ртутні дифузійні помпи з пастками для охолодження. Для вимірювання вакууму виявився практичним вакуумметр Філіпса.



Диплом Олександра Смакули від німецького фотографічного товариства за винахід просвітлення оптики





Для серійного виробництва були сконструйовані подвійні установки, два скляних ковпаки яких були вміщені в одній вакуумній системі. У той час, як один скляний ковпак випомпується, інший може наповнюватися оптичними елементами. Цією установкою можна здійснювати щопівгодини нове нанесення плівок.

На підставі цих результатів Цейс отримав патент DRP № 685767 від 1 листопада 1935 року [3]. Моє прізвище при цьому не було названо, тому що відповідно до тодішнього закону про патент фірмі не потрібно було називати прізвище винахідника. З військових міркувань патент тримався в таємниці. Лише 1938 року після публікації Картерігта і Турнера [4] заборону на патент було знято.

### 5. Подальший розвиток

За останні 30 років, після винаходу способу зменшення відбивання світла, зроблено численні удосконалення. Що стосується обладнання, то ртутні помпи замінені масляними, які є продуктивнішими і не потребують пасток для охолодження. Товщина шарів під час випаровування контролюється фотометрично. Спектр розширюється в ультрафіолетову та інфрачервону область [6]. Поряд з простими шарами для спеціальних цілей (інтерференційні фільтри) використовуються також багатократні шари [7]. Неоднорідні шари [8] також знайшли в наш час практичне застосування для зменшення відбивання в окулярах [9]. Не бракувало також спроб розробити інші методи для досягнення зменшення відбивання. Методом газової реакції шари пертворюються на поверхні скла відповідною обробкою паром в оксиді (наприклад,  $TiO_2$  або  $SiO_2$ ) [7]. Цей метод дає дуже міцні шари [7]. За іншим методом використовують відповідні розчини, які наносять на поверхню скла шляхом центрифугування або занурювання [10] з наступним випаровуванням розчинника або через термічну обробку, що робить шари міцними.

Замість того, щоб наносити на поверхню скла чужорідні шари, можна шляхом хімічної реакції виділити з поверхні скла його певні складові частини [7, 11, 12, 13]. Змінена поверхня скла є пористою і зменшує його відбивання. Але вищезгадані методи не могли далі конкурувати з вакуумним методом, який діє чисто, швидко і дешево.

Застосування способу зменшення відбивання світла перевищує всі сподівання. Сьогодні майже не видно оптичних систем без зменшення відбивання. Фіолетовий колір лінз у відбитому світлі став товарним знаком якості оптики. Завдяки винаходу зменшення відбивання розробник оптичних систем звільнився від труднощів, обмежившись малою кількістю скляних поверхонь. Він може це зробити легше, бо обчислювальні машини і комп'ютери виконують замість нього втомлеву обчислювальну роботу. Після 30-річної перевірки можна тепер без сумніву погодитися, що „винахід зменшення відбивання світла зархований до небагатьох фундаментальних успіхів технічної оптики в цьому столітті”.

1. Smakula A. Über die Erhöhung der Lichtstärke optischer Geräte. Z. Instrumentenkunde. 1940. Bd. 60. S. 33-36.
2. Smakula A. Über die Reflexionsverminderung an Grenzflächen zwischen durchsichtigen Körpern. Glas-techn. Ber. 1941. Bd.19. S. 377-386.
3. Smakula A. Carl Zeiss DRP 685 767 v.1. Nov. 1935.
4. Cartwright C.H. u. Turner A.F. Bull. Am. Phys. Soc. 1938. Bd.13. S.10.
5. Anders H. Dünne Schichten für die Optik. Stuttgart 1965, Wiss. Verlagsges.
6. Cox J.T. u. Hass G. Antireflection coatings for optical and infrared optical materials. Physics of Thin Films. New York u. London, Academic Press. 1964. Bd. 2. S. 239-304.
7. Geffecken W. Dünne Schichten auf Glas. Glastechn. Berichte. 1951. Bd. 24. S.143-151.
8. Geffecken W. Reflexion elektromagnetischer Wellen an einer inhomogenen Schicht. Ann. Physik. 1941. Bd. 40. S. 385-392.
9. Anders H. Carl Zeiss DBP 1 174 223. 1961.
10. Geffecken W. u. Schröder H. Schott und Gen. DBP 905 426. 1951.
11. Schröder H. Die Eigenschaften von optischen Gläsern mit chemisch veränderter Oberfläche I.Z. techn. Physik. 1941. Bd. 22. S. 38-43.
12. Schröder H. Die Bildung reflexmindernder Oberflächenschichten auf Glas durch Lösungen mit pH-Werten nahe 7. Z. Naturf. 1949. Bd. 4a. S. 515-521.
13. Schröder H. Über die Angreifbarkeit des Glases durch Lösungen mit pH-Werten nahe 7. Glastechn. Berichte. 1953. Bd. 26. S. 91-97.

(Вісник Фонду Олександра Смакули. 1998. 2(4). С. 14-17)



Українські вчені та інженери зробили помітний внесок у конструювання лазерів, які мають надзвичайно широке застосування в науці, техніці, медицині і визначають сучасний технологічний рівень суспільства. Створення цих приладів було б неможливим без вироблення технології синтезу дзеркал для лазерних резонаторів різних типів.

## ЦЕЙ ДИВНИЙ СВІТ ГАЗОВИХ ЛАЗЕРІВ

Ярослав Боднарчук, Данило Крисюк,  
Володимир Липський

Наприкінці 1970 – початку 1980-х років спостерігався справжній бум у розробках і впровадженні у виробництво газових лазерів. Це насамперед He-Ne, He-Cd, He-Se, Ar<sup>+</sup>, Kr<sup>+</sup>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO-лазери. Львівські вчені та інженери внесли в скарбницю передових науково-технічних досягнень чимало оригінальних розробок лазерних приладів, установок, які впроваджені у серійне виробництво. Саме тут формувались нові конструктивні погляди на електронно-оптичне приладобудування.

Відзначимо унікальні можливості саме газових лазерів: високу когерентність та вузьку направленість лазерного променя. Це зрозуміло із загальних міркувань, оскільки гази мають високу однорідність. У He-Ne лазерах розбіжність пучка можна довести майже до теоретично можливого рівня (дифракційної розбіжності:  $\Theta = 1,22 \lambda/D$ , де  $\lambda$  - довжина хвилі,  $D$  - діаметр пучка).

Унаслідок високої монохроматичності та можливості формувати вузький пучок ці лазери широко застосовують у науці й техніці.

На прикладі атомарного He-Ne лазера розгляньмо механізм виникнення лазерної генерації. Відомо, що остання може реалізуватися при т. зв. інверсному заселенні рівнів, коли заселеність верхнього робочого рівня більша від нижнього. Заселеність енергетичних рівнів атома визначається розподілом Больцмана:

$$N_i = N_0 \exp(-E_i/kT) \quad (1)$$

Аналіз формули (1) показує, що в стані термодинамічної рівноваги на верхніх енергетичних рівнях завжди менша кількість частинок, ніж на нижніх. Заселеність верхнього рівня можна збільшити зовнішніми впливами (оптичними, електричними, хімічними). Її легко реалізується, якщо верхній рівень метастабільний і час життя елект-

ронів на ньому більший, ніж час життя на нижньому рівні. На рис. 1 зображена діаграма енергетичних рівнів станів He і Ne.

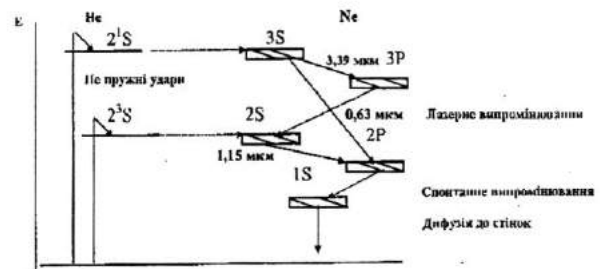


Рис. 1. Діаграма енергетичних рівнів He і Ne

В атомах Ne час життя S-рівнів дещо більший від часу життя P-рівнів, тому стає можливою інверсія у стаціонарному режимі на переходах S-P. Заселення верхніх рівнів Ne відбувається прямим електронним ударом. Виникає запитання, для чого застосовується He? Відповідь стає зрозумілою, коли детально проаналізувати діаграму станів на рис. 1. Метастабільні рівні 2<sup>1</sup>S і 2<sup>3</sup>S He енергетично близькі до рівнів 3S і 2S атома Ne (дефект енергій становить декілька *kT*). Якщо парціальний тиск He більший від парціального тиску Ne, тоді відбувається ефективний процес передачі збудження від атомів He атомам Ne. Такий, на перший погляд, додатковий механізм заселення рівнів 2S і 3S Ne є основним, оскільки енергетичні рівні 2<sup>1</sup>S і 2<sup>3</sup>S He заселяються порівняно легко. Отже, непружні співударі атомів He створюють інверсну заселеність атомів Ne.

Інверсне заселення рівнів спонукає для зручності ввести поняття „від’ємної” температури *T*. Коефіцієнт поглинання активного середовища суміші He і Ne, також стає від’ємним.





Інверсія заселеності рівнів Ne помітно зростає, якщо атоми Ne здатні зіштовхуватись із стінками газорозрядного капіляра. Внаслідок цих зіткнень виникають безвипромінювальні переходи між рівнем 1S і основним станом Ne. Спустошення рівня 1S збільшує інтенсивність спонтанного випромінювання між рівнями 2P і 1S. Це збільшує інверсію заселеності між робочими переходами 3S → 2P. З цієї причини коефіцієнт підсилення більшості переходів He-Ne лазерів обернено пропорційно залежить від діаметра газорозрядного капіляра. Рівень 1S також метастабільний і при великих струмах розряду ефективно сприяє заселенню нижнього робочого рівня 2P. Це визначає оптимальне значення струму підкачки. Зменшувати діаметр капіляра нижче від певної величини недоцільно, оскільки при цьому зростають дифракційні втрати оптичного резонатора.

Конструювання He-Ne лазерів вимагає оптимізації низки параметрів: діаметра та довжини газорозрядного капіляра, радіусів кривизни дзеркал, величини розрядного струму, сумарного та парціального тисків He і Ne тощо, які часто мають протилежний вплив на характеристики лазерної генерації.

Відомо, що в He-Ne лазерах стимульоване випромінювання спостерігається більше, ніж на 130 лініях [1]. Завдяки розщепленню енергетичних станів Ne кожний з підрівнів може слугувати початковим або кінцевим рівнем для декількох лазерних переходів. За правилами відбору можливі тільки певні переходи, основні з них зображені на рис. 1. Найчастіше використовується генерація He-Ne лазерів на довжині хвилі  $\lambda = 0,63$  мкм.

Функціонально лазер складається з трьох основних частин (див. рис. 2): активного елемента (1), блока живлення (2) і оптичного резонатора (3, 4).

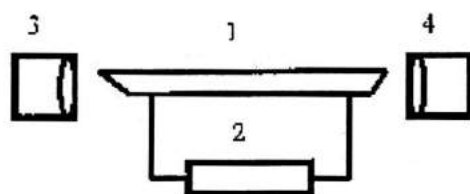


Рис. 2. Блок-схема лазера

В активному елементі 1 довжиною від 60 до 1800 мм і діаметром від 1 до 6 мм збуджується

пліючий розряд. Величина струму при цьому становить  $4 \div 30$  мА. Блоки живлення перших He-Ne лазерів конструювалися за трансформаторною схемою, були громіздкими і масивними. Сучасні схеми побудовані на високочастотних перетворювачах. Це дало змогу поліпшити стабільність вихідних параметрів і знизити їх матеріалоемкість. Оптичні дзеркала 3, 4 забезпечують зворотний зв'язок у резонаторі і виникнення лазерної генерації. Резонатор повинен бути з'юстований.

Особливістю індукованого випромінювання є повна ідентичність кванта випромінювання (його частоти, фази, поляризації) і кванта збудження. Для досягнення високого ступеня поляризації вихідного пучка, вікна газорозрядного елемента орієнтовані під кутом Брюстера.

Для переходів 3S-2P на ( $\lambda_1 = 0,63$  мкм) і 3S-3P ( $\lambda_2 = 3,39$  мкм) є спільним їх верхній рівень. Перехід на  $\lambda_1$  відповідає величині коефіцієнта підсилення  $G = 0,02 \div 0,10$ , а на  $\lambda_2 - G > 0,10$ . Більший коефіцієнт підсилення на  $\lambda_2$  зумовлює за певних умов т. зв. надвипромінювання, коли квазілазерна генерація виникає за один прохід квантів світла між дзеркалами резонатора. Канал 3S-3P перекачує на себе більшість збуджених атомів Ne і збіднює інверсію переходу 3S-2P. Така конкуренція переходів у He-Ne лазері породжує цілу низку проблем у конструюванні лазера на довжині хвилі  $\lambda_1 = 0,63$  мкм.

Серійні He-Ne лазери на довжині хвилі  $\lambda_1 = 0,63$  мкм ЛГ-38, ЛГН-104, ЛГН-215, ЛГН-222 характеризуються потужністю генерації понад 50 мВт. Саме в таких лазерах з активним розрядним капіляром довжиною понад 1500 мм конкуренція переходів 3S-3P і 3S-2P особливо відчутна, і навіть незначна присутність генерації на  $\lambda_2$  знижує майже удвічі потужність генерації на  $\lambda_1$ .

У конструкції активних елементів лазерів ЛГ-38, ЛГН-104 застосована поглинаюча  $\lambda_2$  метанова комірка (рис. 3).

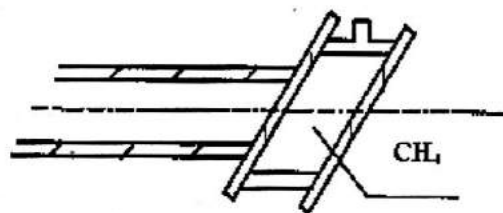


Рис. 3. Метанова комірка



Двома суттєвими недоліками цієї конструкції є поява додаткових втрат у резонаторі на другому вікні комірки і, що важливіше, конденсація краплин метану на обох внутрішніх вікнах комірки. Остання причина виявляється при тривалому (понад 6 місяців) зберіганні лазерів без їх включення. Після прогріву комірки вдавалося відновити потужність генерації до певного рівня, але процес конденсації і забруднення вікон знову повторювався. Особливо критичною виявилась ситуація з лазерами серії „Амазонка”. Їх застосовують на аеродромах у системі злету і посадки „Глісада”. Те, що ці лазери застосовуються у авіаційній техніці і мусять бути надійними, зумовило необхідність знайти ефективний спосіб усунути генерацію на  $\lambda_2 = 3,39$  мкм. Інженери зосередили увагу на дзеркалах резонатора. Відомо, що в He-Ne лазерах для досягнення лазерної генерації необхідно забезпечити великі коефіцієнти відбивання дзеркал –  $R \geq 97 \div 99,9$  %. Це досягається застосуванням багатошарових четверть хвильових покриттів [2]. Необхідно „наносити”  $\lambda/4$ -поверхні ( $\lambda$  – робоча довжина хвилі) з двох різних матеріалів, а саме – з низьким  $n_n$  та високим  $n_n$  показником заломлення. Таке багатошарове покриття (кількість шарів непарна) забезпечує високий амплітудний коефіцієнт відбивання за рахунок багатократного інтерференційного підсилення (рис. 4).



Рис. 4. Схема лазерного дзеркала: 1, 2 – почергові шари  $n_n$  і  $n_n$ , 3 – підкладка

Спектр відбивання дзеркала, виготовленого напиленням у вакуумі матеріалів  $MgF_2$  ( $n_n = 1,38$ ) і  $ZnS$  ( $n_n = 2,3$ ) на підкладку з плавленого кварцу ( $n = 1,45$ ) зображено на рис. 5. Зазначимо, що коли  $R(\lambda_2)$  досягає величини  $5 \div 10$  %, виникає генерація на цій лінії за рахунок великого власного підсилення. Для повного усунення генерації на  $\lambda_2$  необхідно зменшити  $R$  на цій довжині хвилі до 3 %. Це досягається синтезом спеціальних інтерференційних покриттів. Така задача, обернена до попередньої, оскільки відбивання на заданій довжині хвилі  $\lambda_2$  повинно бути мінімальним. Отже,

у багатошаровому покритті слід забезпечити умови мінімуму інтерференції на  $\lambda_2$ , не порушуючи величини відбивання на  $\lambda_1$ .

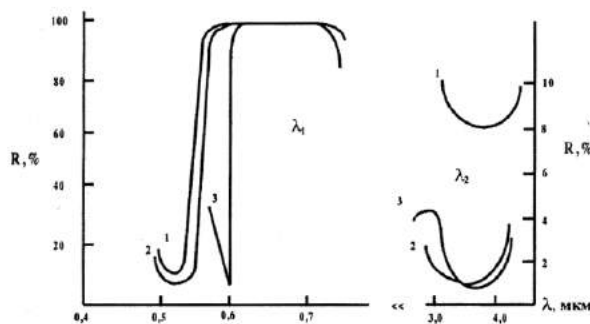


Рис. 5. Спектри відбивання багатошарових лазерних дзеркал в областях ліній генерації  $\lambda_1 = 0,63$  мкм і  $\lambda_2 = 3,39$  мкм

Оскільки  $\lambda_2 \approx 5\lambda_1$ , то напилюють 5 шарів з  $\lambda_1/4$  з матеріалу  $n_n$ , які завершують всю структуру покриття дзеркала [3]. Таке багатошарове покриття стає кратним до  $\lambda_2/2$  і набуває в цій області спектра тільки величини френелівської складової відбивання. Відбивання ж на  $\lambda_1$  не змінюється порівняно з початковим, оскільки утворена структура зберігає кратність  $\lambda_1/4$ .

Для багатьох випадків оптимальним варіантом структури покриття є потовщення центрального шару до величини, що дорівнює півхвилі  $\lambda_2 = 3,39$  мкм. При цьому зберігається кратність  $\lambda_1/4$ , тобто повинна виконуватись умова:

$$(2k + 1)\lambda_1/n(\lambda_1) = 2\lambda_2/n(\lambda_2) \quad (2)$$

де  $k$  – ціле число;  $n(\lambda_1)$  і  $n(\lambda_2)$  – показники заломлення центрального шару на  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$ .

Вибираючи матеріал для проміжного шару з певною дисперсією показника заломлення, можна досягти більшої точності виконання умови (2), тобто більшої ефективності використання цієї структури для усунення  $\lambda_2 = 3,39$  мкм. Вона використовується як інтерференційний фільтр, що розділяє лазерний пучок на дві компоненти з приблизно однаковими амплітудами, які поширюються у фазі на  $\lambda_1$  та у протифазі на  $\lambda_2$ . У результаті суперпозиції цих хвиль відбитий потік на  $\lambda_2$  буде мінімальним, а коефіцієнт відбивання на  $\lambda_1$  не відрізняється від свого значення для звичайного дзеркала без потовщеного шару, ос-





кільки утворена структура зберігає оптичну товщину, кратну до  $\lambda_1/4$ . Розраховані і поміряні спектри відбивання запропонованих багатошарових структур з ZnS і  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  ( $n_n = 1,36$ ) зображені на рис. 5. У серійних гелій-неонових лазерах ЛГН-104, ЛГН-215 і ЛГН-222 якраз застосовані дзеркала, які виготовлені за описаною методикою. Це забезпечило надійність і потрібний рівень потужності лазерної генерації, а також високу стійкість до кліматичних впливів.

Існує ще одна конструктивна особливість, яку слід враховувати при виготовленні He-Ne лазерів. В одномодових лазерах, де вихідним є плоске дзеркало ( $R = \infty$ ), спостерігалось цікаве явище. При строго паралельних гранях високоякісної плоскої підкладки виникає так званий ефект третього дзеркала. Вихідний лазерний пучок інтерферує із відбитою від неробочої поверхні частиною лазерного пучка (рис. 6). Це приводить до погіршення стабільності  $P_{\text{ген}}$ , оскільки із прогрівом підкладки змінюється її оптична довжина  $L = nd$ , змінюючи при цьому базу утвореного інтерферометра. У результаті змінюється коефіцієнт відбивання  $R_{\text{эф}}$  утвореного еквівалентного дзеркала. У [4] показано, що зміна  $R_{\text{эф}}$  має періодичний характер і варто температурі підкладки змінитися на  $\Delta T = 0,02$  К, щоб  $R_{\text{эф}}$  досягло максимуму. Ситуація різко погіршується, якщо у спектрі випромінювання присутня лінія  $\lambda_2 = 3,39$  мкм. Остання різко підсилює вказані явища внаслідок конкуренції із  $\lambda_1$ . Зазначимо, що  $\lambda_2$  присутня навіть у лазерах з мінімізованим відбиванням на  $\lambda_2$ .

Звідки береться  $\lambda_2$  у цьому випадку? Згадаємо про надвипромінювання на цій довжині хвилі. Велетенське підсилення підхоплює кванти світла на переході 3S-3P і помножує їх за один прохід резонатора. Випромінені кванти ( $\lambda_2$ ) підсилюються також при відбиванні від стінок капіляра. Це випромінювання лазерним назвати важко, оскільки за один прохід воно не набуває притаманних лазерному променю властивостей. Зокрема, таке надвипромінювання, (або як його ще називають суперлюмінесценцією) має більшу від лазерного пучка розбіжність. Проте свою „згубну” справу воно встигає зробити, а саме – знизити потужність генерації на лінії  $\lambda_1$ . Запобігти цьому можна: по-перше – замінити підкладку із плавленого кварцу на скло, по-друге – уздовж активного елемента дискретно розташувати постійні дисковидні

магнети. Перший захід зрозумілий, оскільки скло (марка К8) не пропускає інфрачервоні хвилі ( $\lambda_2$ ). А другий?

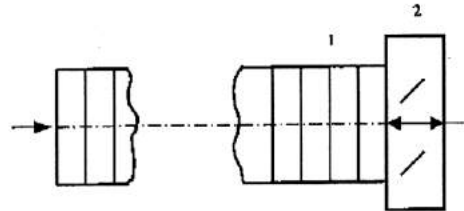


Рис. 6. „Ефект третього дзеркала”

Згадаємо, що контур лінії випромінювання атома Ne при тліючому розряді плазми розширений завдяки існуванню атомів Ne з різними швидкостями (ефект Доплера).

Для  $\lambda_1 = 0,63$  мкм при температурі розряду близько 400 К розширення лінії дорівнює 1500 МГц, а для  $\lambda_2 = 3,39$  мкм – 300 МГц [2]. Знову це п'ятикратне співвідношення між  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  використовується для усунення надвипромінювання на  $\lambda_2$ . Унаслідок ефекту Зеємана, магнетне поле розщеплює верхній робочий рівень 3S атома Ne на дві компоненти. Контури  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  роздвоюються, причому обидві розщеплені компоненти мають протилежну кругову поляризацію. Відомо, що

$$\Delta\nu_{\text{Зеєман}} = \pm eH/4\pi m, \quad (3)$$

де  $H$  – напруженість магнетного поля. При  $H = 20$  А/м розщеплення становить 150 МГц. При цьому розщепленні контури лінії  $\lambda_2$  виходять за межі власного доплерівського контура підсилення, а контури лінії  $\lambda_1$  практично не змінюють своє сумарне підсилення. Унаслідок цього надвипромінювання на  $\lambda_2$  пригнічується. Крім згаданого ефекту Зеємана, поперечне магнетне поле внаслідок дії сили Лоренца поліпшує відхід йонів Ne на стінки капіляра, як результат – посилення рекомбінації збуджених атомів на рівні 2P, що збільшує інверсію заселеності і величину потужності генерації  $P_{\text{ген}}$ .

Отже, позбувшись генерації та надвипромінювання на  $\lambda_2$ , вдалося досягнути довготривалої стабільності  $P_{\text{ген}}$  у лазерах ЛГН-215 і ЛГН-222. У ЛГН-104 проблема розв'язувалася лише завдяки застосуванню просвітлених на лінії  $\lambda_2$  дзеркал, оскільки в цьому лазері вихідним дзеркалом була сфера із радіусом кривизни 1,5 м. Зрозуміло, що задня грань підкладки цього дзеркала не зумовлює „ефекту третього дзеркала”.



Скажемо дещо про конструкцію цих лазерів. Резонатор лазера ЛГН-104 зібрано на трьох інварових стержнях, коефіцієнт теплового розширення яких не перевищував  $3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . Активний елемент довжиною  $\sim 1500$  мм уперше був виготовлений із холодним алюмінієвим катодом. Майже повна герметичність лазера та механічна розв'язка резонатора від кожуха збільшила його вібростійкість. Лазер ЛГН-215 з базою резонатора біля 2 м забезпечував одномодовий гаусівський пучок з  $P_{\text{ген}} > 50$  мВт. Він має перспективи для застосування в голографії. Основа резонатора (дюралева труба) захищена від нагрівання активним елементом декількома тепловими екранами. Тонке юстування дзеркал робило цей лазер зручним у користуванні. До речі, в цьому лазері вперше застосовується генерація на довжині хвилі  $\lambda_3 = 0,73$  мкм (перехід  $3S_2 - 2P_{10}$ ) [5]. Недоліком конструкції активного елемента була невисока надійність (близько 1200 год) унаслідок застосування підігрівного катода. У новій модифікації лазера ЛГН-215 (лазері ЛГН-222) застосовується активний елемент з холодним катодом, що покращує експлуатаційні характеристики і збільшує ресурс до 2000 год.

Опис особливостей конструювання He-Ne лазерів наочно ілюструє, наскільки важливим є знання фізичних законів і вміння застосувати їх для досягнення потрібних характеристик таких приладів. Українські учені та інженери зробили значний внесок у створення й інших типів лазерів, зокрема He-Cd, He-Se,  $\text{Ar}^+$  і  $\text{Kr}^+$ .

1. Справочник по лазерам. /Под редакцией А.М.Прохорова: 2 т. - М.: Сов. радио, 1978. - Т. 1. 504 с.
2. Довгий Я.О. Оптичні квантові генератори. - К.: Вища школа, 1977. - 232 с.
3. Бондарчук Я.М., Леонтьев В.Г., Липский В.В. Использование комбинированных зеркал для подавления конкурирующей генерации 3,39 мкм в He-Ne лазерах видимого диапазона. //Оптика и спектроскопия. - 1985. Т. 58. В. 6.
4. Колтун В.Л., Леонтьев В.Г., Липский В.В., Надольский Е.Я., Остапченко Е.П. Исследование неустойчивости мощности излучения He-Ne лазера с плоско-сферическим резонатором. //Квантовая электроника. 1981. - Т. 8. № 8.
5. Бондарчук Я.М., Леонтьев В.Г., Липский В.В., Привалов В.Е., Соловьева Г.И. Особенности энергетических характеристик He-Ne лазера на  $\lambda = 0,73$  мкм. //Оптика и спектроскопия. - 1990. - Т. 68. - В. 5. - С. 1191.

*Роздуми етнарним багатством  
Світу фізики*

*Розуміння фізики є розуміння  
природним явищам а вглядати природу,  
як її будова може змінювати по  
можливості ціле людське покоління.  
Розуміння етнарним є існує добро  
своєю близьким. Егоїзм не може  
бути цілем ані провідником  
жодного нашого життя. Треба  
етнарним знати фізику, аби  
се їм було людське життя  
співати со мило.*

*в Празі 31.3.2000*

*І. Краус*

**Покликанням фізиків є розуміння природних явищ та пошук способів їх використання майбутніми поколіннями з благородною метою.**

**Покликання людини – творити добро своїм близьким. Егоїзм не має бути ані засобом, ані метою наших починань.**

**Бажаю читачам „Світ фізики”, щоб це покликання людини їм удалося виконати якомога краще.**

**Прага, 31.3.2000**

**Іво КРАУС,  
докт. фіз.-мат. наук,  
професор Чеського технічного  
університету в Празі**



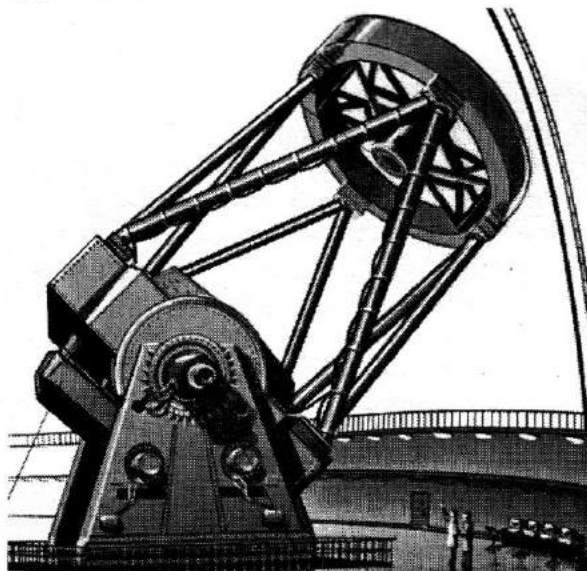
# Телескопи на Землі і в космосі

Ярослав ШОПА

канд. фіз.-мат. наук

1609 року венеційський учений Галілео Галілей сконструював пристрій, через який виразно бачив предмети, що знаходились на великій віддалі. Він швидко зрозумів важливість свого винаходу і почав спостерігати за небесними тілами. 1610 року за допомогою своєї труби, що складалася лише з двох лінз, і яку тепер називають його іменем, він виявив супутники біля Юпітера. Трубу Галілея сьогодні можна зустріти хіба що в театрі.

Сьогодні астрономи мають на озброєнні потужні телескопи, які все далі відсувають межі, що існували досі. Найновіший з них побудований завдяки тісній міжнародній співпраці і знаходиться на Європейській південній обсерваторії в чилійських Андах. Він одержав назву VLT (від англійської Very Large Telescope) і збирає в кілька десятків тисяч разів більше світла, ніж труба Галілея. Замість скляних лінз у VLT використовуються велетенські дзеркала. Світло спочатку відбивається від головного дзеркала, потім від меншого вторинного, і потрапляє в аналізатор зображення. VLT дає змогу спостерігати лампу розжарення з віддалі 10 000 км.



Але будівництво таких великих телескопів вимагає багато коштів. Достатньо сказати, що для розчищення території під 4 заплановані телескопи перенесено 300 000 куб. м каміння, при цьому гора стала на 25 м нижчою. Особливо багато проблем виникало при побудові головного 8-ми метрового дзеркала для телескопа. Тривалий час вва-

жали, що діаметр 5–6 м є природною межею для таких дзеркал. Причина в тому, що дзеркала великої площі дуже важкі і легко деформуються під час обертання телескопа.

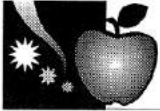
Конструктор Рей Вільсон (Ray Wilson) висунув ідею побудувати 8-ми метрове дзеркало досить тонким і гнучким. Після 7 років неперервної обробки, полірування і перевірки воно було готове. Нерівності його поверхні менші від 50 мільйонних часток міліметра. Якби збільшити дзеркало до розмірів нашої країни, то вони не перевищували б і 10 мм. Основними елементами системи є підтримуючі частини головного дзеркала. 152 гідравлічних циліндри, якими керують комп'ютери, виконують цю функцію. Так здійснюється неперервна корекція форми дзеркала. Перші тести нового телескопа підтвердили його високі якості.

Для чого потрібні телескопи такого великого діаметра? По-перше, вони збирають більші світлові потоки і дають змогу побачити дуже слабкі далекі об'єкти. По-друге, при цьому зростає їх роздільна здатність. Кутова віддаль між двома близькими точковими джерелами, що розрізняються як окремі, є прямо пропорційна до  $\lambda/D$  ( $\lambda$  – довжина світлової хвилі,  $D$  – діаметр головного дзеркала телескопа). Для видимого світла  $\lambda \approx 0,5$  мкм, і ця величина справді дуже мала. Така властивість справедлива і для радіотелескопів, їхні розміри значно більші (аж до 300 м), але вони реєструють радіохвилі з довжиною  $\lambda$  принаймі у 100 000 разів більшою, ніж в оптичному діапазоні.

Проте навіть такі сильні телескопи, як VLT поки що не дають змоги візуально спостерігати планети, які належать іншим зорям. Планети не випромінюють власного світла, а те, що ними відбивається чи розсіюється, занадто слабке. Тому астрономи використовують непрямі способи виявлення чужих позасонячних планетних систем.

Першу таку планетну систему відшукали 1995 року шведські астрономи на підставі точного вимірювання спектра зірки 51 Пегаса, яка обертається разом з планетою навколо спільного центра мас зазнавала періодичних коливань. При цьому внаслідок ефекту Доплера довжини хвиль ліній у спектрі зірки також періодично змінювались.

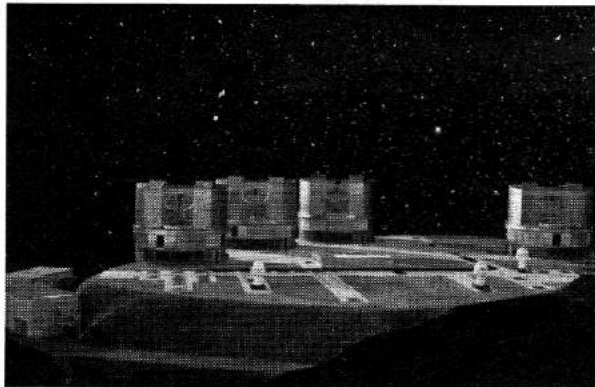




Група астрономів з Сан-Франциско на чолі з Дж. Мерсі (Geoffrey Marcy) виявила справжню чужу планетну систему на віддалі всього 44 світлових роки. З'ясувалося, що  $\epsilon$ -Андромеда зазнає незвичайних рухів, які можна пояснити наявністю відразу кількох планет. Комп'ютерне моделювання гравітаційної взаємодії зірки і трьох планет підтвердили це.

Інший спосіб виявити чужі планетні системи ґрунтується на спостереженні за інтенсивністю зірки упродовж певного часу. Обертаючись навколо неї, планета може частково закривати її своїм диском і зменшувати на кілька годин спостережувану інтенсивність зірки. Таке явище справді неодноразово зафіксовано. Але чи вдасться все-таки побачити чужі планети?

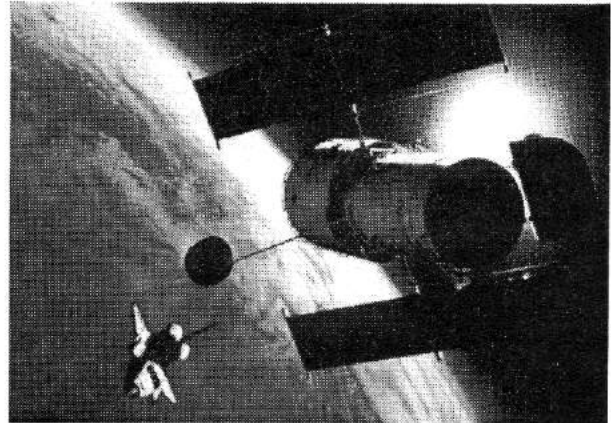
VLT-телескоп також невдовзі шукатиме їх за допомогою оптики дуже високого розділення. Через два роки мають стати до ладу вже чотири телескопи, що працюватимуть як єдине ціле, спрямовуючись на один і той самий об'єкт. Принципи інтерферометрії дадуть змогу отримати таке саме зображення за розділенням, як на 200-метровому телескопі. Але є деякі проблеми у розв'язанні цієї задачі. Атмосферні шари повітря, які зазнають випадкових змін оптичних властивостей, викривлюють світлові пучки, що потрапляють у телес-



коп, зображення стають нечіткими. Щоб система з чотирьох телескопів працювала добре, треба компенсувати спотворення від атмосфери. Кожне дзеркало буде відповідно деформуватися за допомогою гідравлічних підставок, щосекунди комп'ютери підкоректовуватимуть його форму, в результаті система буде функціонувати правильно.

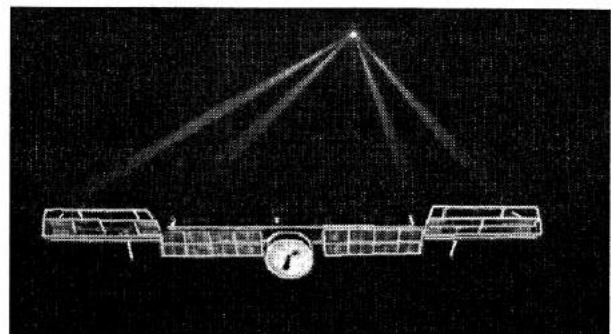
За проектом ALMA планується утворити аналогічну систему з 64 радіотелескопів загальним розміром 5000 м. Радіохвилі, на відміну від світла, майже не зазнають спотворень в атмосфері.

Щоб позбутись шкідливого впливу атмосфери, телескопи виносять у космос. Найвідомішим з них є 12,5-тонний космічний телескоп „Хаббл” чи HST (Hubble Space Telescope), виведений на



орбіту Землі 1990 року. Внаслідок помилки у виготовленні його 2,4 метрового дзеркала перші знімки виявилися нечіткими. Корекція була виконана 1993 року, коли астронавти багаторазового космічного корабля замінили низку деталей і встановили у ньому відповідний коригуючий елемент. Останні профілактичні роботи на HST виконані в грудні 1999 року, вони знову підвищили його можливості.

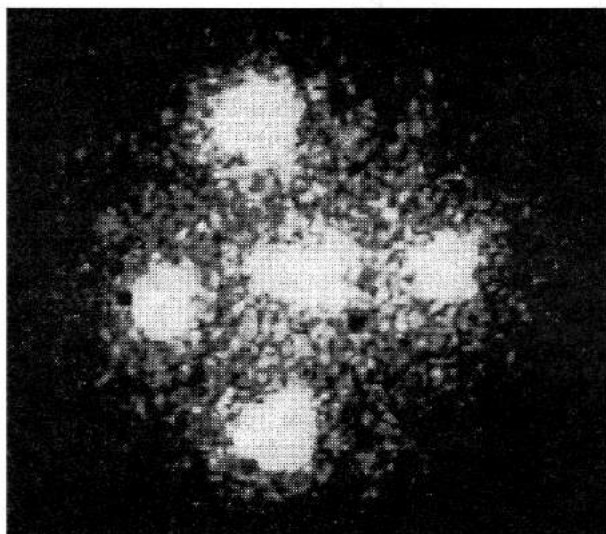
Новий проект NASA передбачає до 2005 року запуск космічного інтерферометра, а згодом цілу космічну ескадру телескопів, які також працюватимуть за принципом інтерферометра. Можна буде відгадати нарешті таємницю чорних дір, глибше пізнати будову і еволюцію галактик. З 2010 року пошуком планет займеться „Terrestrial Planetfinder”, який має стати найбільшим космічним телескопом з розміром футбольного поля і складатиметься з чотирьох дзеркал. За допомогою спектрометра буде аналізуватися світло, яке пройшло крізь атмосферу далеких планет з метою





встановлення її хімічного складу, виявлення слідів біологічної активності і дослідження можливості існування життя.

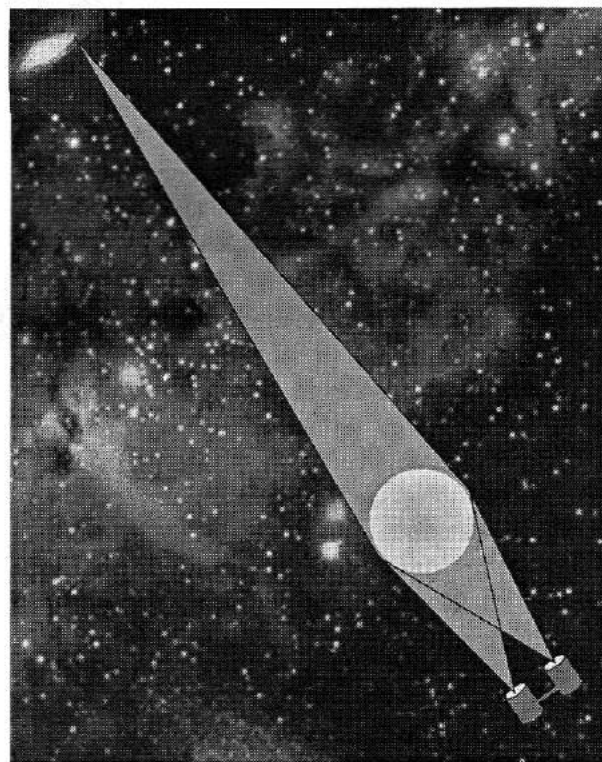
Але існує ще фантастичніший проект космічного телескопа, який запропонував італійський фізик-теоретик К.Макконе (Claudio Maccone). Згідно з загальною теорією відносності Айнштейна масивні космічні об'єкти викривляють простір, внаслідок цього світлові промені (так само і радіохвилі) відхиляються від прямої. Виникають так звані гравітаційні лінзи. Космічний телескоп HST якраз і зафіксував таку лінзу. Один з найвідоміших його знімків одержав назву „хрест Айнштейна”. Промені від квазара, що знаходиться на віддалі 8 млрд. світлових років, проходячи мимо галактики (у центрі), яка приблизно удвічі ближче, зазнали викривлення. Тому на Землі квазар видно крізь гравітаційну лінзу і його зображення розбивається на чотири.



Наше Сонце завдяки своїй великій масі також може служити гравітаційною лінзою, утворюючи найбільший і найкращий телескоп. Існує місце у космосі, де збиратимуться промені від далекого об'єкта, після їх відхилення гравітаційним полем Сонця. Але таке місце знаходиться на віддалі 82 млрд. км. Ще жоден об'єкт, який створений людьми, не перебував так далеко від Сонця. Космічні апарати „Вояджер-1” і „Вояджер-2” були запущені ще 1977 року, але зараз перебувають на віддалі лише біля 10 млрд. км, рухаючись зі швидкістю меншою від 40 км/с.

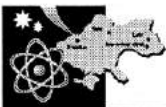
Щоб досягнути точки, яка знаходиться в 14 разів далі від Плутона, такої швидкості недостатньо.

Але можливості космонавтики зростають. Стартуючи 2010 року і рухаючись з достатньою швидкістю, апарат досягне визначеного місця десь 2040 року. Тут від нього відокремляться два телескопи, утворюючи інтерферометр. Світло від далеких зірок, проходячи біля Сонця, відхилиться, потраплятиме на телескопи, а потім прецизійно складатиметься. Ефект збільшення має бути величезним. В оптичному діапазоні можна



буде спостерігати і сфотографувати навіть істот, які живуть на чужій планеті, що потрапила в поле зору телескопа. Теоретичне обґрунтування цього проекту дістало міжнародне визнання. К. Макконе відзначено премією і обрано членом Міжнародної академії з астронавтики. Однак технічна реалізація гравітаційного сонячного телескопа видається таки справді на межі реальності і фантастики.

Кожен погляд у Всесвіт є поглядом у минуле. Майже 15 млрд. років прямувало світло зі швидкістю 300 000 км за секунду від найвіддаленіших об'єктів до нас, щоб сьогодні ми його побачили крізь найпотужніші телескопи. Питання, чи ми одні у космосі, давно хвилює людей. Можливо, що й інші цивілізації вже освоїли гравітаційні телескопи, скерували на нашу планету і ... спостерігають за нашим минулим.



# ВАСИЛЬ МІЛІЯНЧУК

Українці, хоч упродовж багатьох віків не мали своєї держави, всупереч численним поневоловачам все ж дали світові геніальних подвижників слова, музики, освіти, науки, технології. Ми, теперішні і майбутні, не маємо права пустити в непам'ять бодай одне ім'я, бодай одну людину, життя, чин чи досягнення якої можуть спричинитися до возвеличення українства, бути гідним прикладом для потомків, викликати гордість українців як етносу, який духовно не поступається жодному іншому.

До таких особистостей належить і видатний український фізик-теоретик, галичанин, діяльності якого значною мірою завдячує існування сьогоднішньої фізичної школи не тільки у Львові, але й в Україні. Це професор Василь Степанович Міліянчук.

Василь Міліянчук народився 10 січня 1905 року в с. Добровідка Коломийського району на Івано-Франківщині в селянській родині, глава якої, батько Степан, ще був змушений підробляти як залізничник. Початкову освіту Василь отримав у рідному селі, а 1913 року склав вступні іспити до Коломийської гімназії. Тут виховували дітей свідомими українцями – досить сказати, що тут в різний час навчалися В. Стефаник, М. Шашкевич, Л. Мартович, композитор Кос-Анатольський. Але необхідність шукати можливостей навчатися за меншу плату заставила талановитого юнака перейти до Перемиської гімназії, а згодом і до Львівської, яку він закінчив 1926 року. Цього ж року майбутній учений став студентом математично-природничого факультету Львівського університету (спеціальність „Математика”), але вже наступного року перейшов до Львівської політехніки. 1927-1928 навчального року він – студент механічного факультету, а з 1928 до 1933 р. нав-



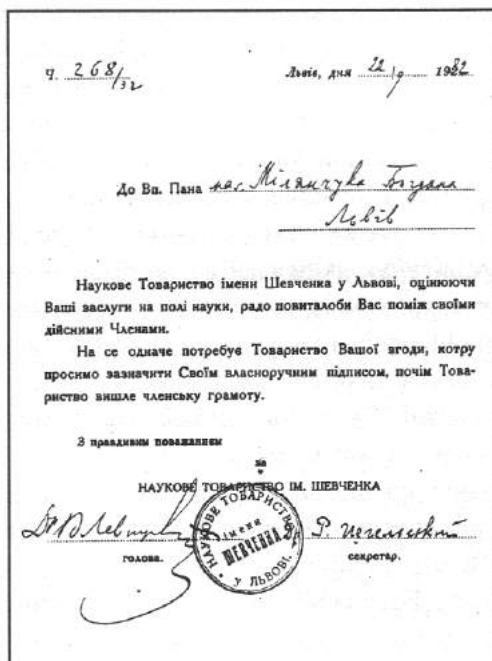
чався на загальному факультеті (спеціальність „Фізика і хімія”).

З історії фізики знаємо, що найголовніша фізична теорія – квантова механіка формувалася зусиллями цілої плеяди видатних фізиків саме в 1925-1928 рр. І якраз тоді основні наукові сили Львова в галузі фізики і математики були сконцентровані у Львівській політехніці. Тут працювали світового рівня математик Стефан Банах та знаний у Польщі та за її межами фізик-теоретик Войцех Рубінович. Останній, очевидно, і звернув увагу обдарованого і працюючого студента на праці творців квантової механіки Бора, де Бройля, Гайзенберга, Шредінгера, Дірака.

Василеві Міліянчукові вдалося дуже швидко оволодіти цією щойно створеною революційною фізичною теорією. Причому настільки, щоб самому розпочати наукові дослідження. Про їхній рівень свідчить такий промовистий факт – як студент Василь Міліянчук опублікував у найпрестижнішому європейському фізичному журналі „Zeitschrift für Physik” 1932 р. дві наукові статті загальним обсягом 38 сторінок, які були присвячені найновішому на той час здобуткові фізичної теорії – релятивістській квантовій механіці Дірака. Досить сказати, що на сторінках цього журналу публікували свої праці такі гранди науки як Планк, Айнштайн та ін.

Молодий учений робив блискучу наукову кар'єру – 28 вересня 1932 року його обрали дійсним членом математично-природничо-лікарської секції Наукового Товариства імені Шевченка – Галицької Академії наук. 1933 року з оцінкою „дуже добре” Василь Міліянчук склав державний іспит з фізики і захистив дипломну роботу на тему: „Явище Зесмана квадрупольних ліній на основі теорії Дірака” і 14 червня 1933 року отримав диплом „у галузі фізичних наук”.





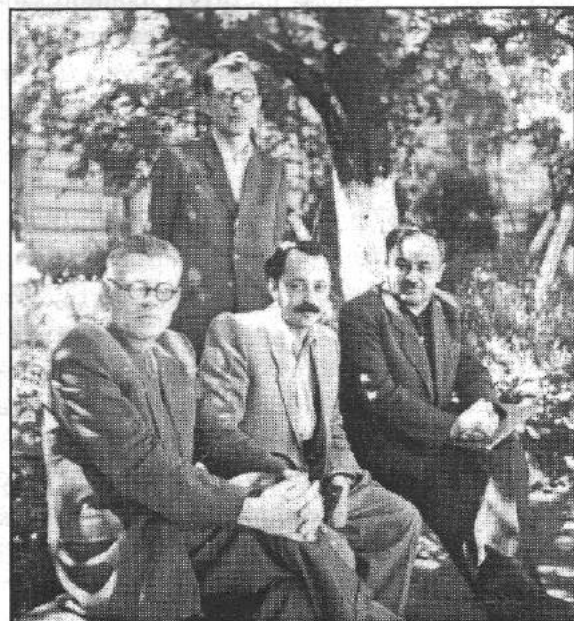
Оригінал листа до В. Міліянчука від НТШ ім. Шевченка за підписом голови доктора В. Левицького та секретаря доктора Р. Цегельського

Віддамо належне кращим представникам польської наукової інтелігенції, які, незважаючи на розгул польського шовінізму (ганебна „пацифікація” українців), намагалися підтримати науковця, українця за походженням і вихованням. Одним із таких був професор Степан Щеньовський, який 1930-1936 рр. очолював кафедру теоретичної фізики Львівського університету. Він запросив молодого вченого на кафедру, але на безоплатній основі – асистентом-волонтером. Ми не знаємо чому Львівський університет, один з провідних навчальних закладів тодішньої Польщі, не спромігся знайти кошти на оплату праці такої, непересічної особистості як Василь Міліянчук.

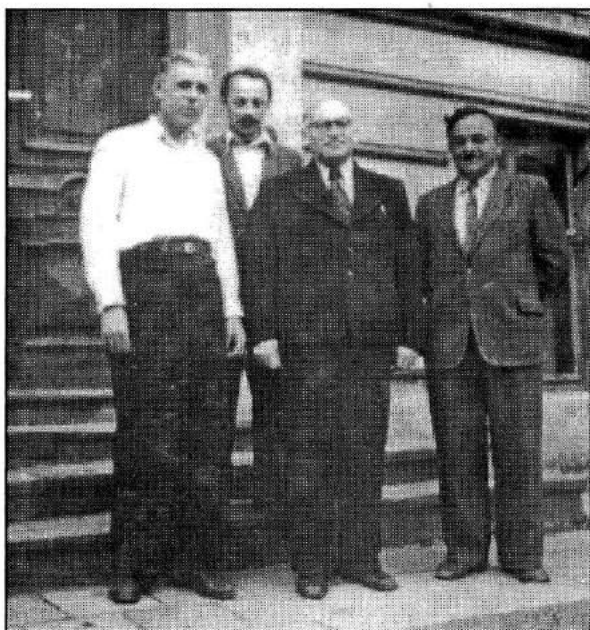
Матеріальні нестатки дошкуляли молодій людині. Як студент Василь Міліянчук шукав можливості заробляти. Такі спроби не завжди були успішними, про що свідчить хоча б повідомлення від 29 вересня 1931 р. „Високоповажаному пану Міліянчуку Василю” від греко-католицької церкви про те, що „всі посади вчителя в середніх школах єпархії сего року є на жаль зайняті”, за підписом самого митрополита Андрея Шептицького (збереглося в архіві родичів В. Міліянчука).

Професор Степан Щеньовський шукав як допомогти молодому науковцеві матеріально і сприяв його науковому зростанню. За поданням професора Василеві Міліянчукові вдається отримати відрядження на стажування до Інституту фізики Варшавського університету (січень-листопад 1935 р.).

Інтенсивна наукова праця молодого вченого не припинялася. Про це свідчать майже 10 публікацій в „Acta Physica Polonica”, Бюлетені ПАН, Наукових збірниках НТШ. 25 червня 1935 р. Василь Міліянчук успішно склав докторські іспити, захистив дисертацію на тему: „Вимушені дипольні лінії” і отримав науковий ступінь доктора філософії. Дисертація була узагальненням наукових результатів Василя Міліянчука щодо тонких деталей спектрів релятивістських електронів, пов’язаних з ефектом Зеємана – розрахунків інтенсивностей та поляризацій розщеплених магнетним полем компонент квадрупольних дублетів, залежностей цих величин від напруженості магнетного поля, розрахунків повздовжнього і поперечного ефектів Зеємана для дипольних і магнетних дипольних ліній, розрахунків комптонівського розсіяння тощо. Ці дослідження вказали на потребу враховувати релятивістські ефекти в атомній спектроскопії.



С. Литвиненко, А. Глауберман, В. Міліянчук, Б. Палух (стоїть)  
Львів, 1950 р.



*Проф. О. Андрієвський, доц. А. Глауберман,  
чл.-кор. АН СРСР, проф. Я. Френкель,  
доц. В. Міліянчук. Львів, 1949*

Наукові досягнення Василя Міліянчука були вагомим аргументом, коли професор Степан Щенювський добивався і добився отримання для доктора Василя Міліянчука річної стипендії на стажування в Фізичному інституті Ляйпцігського університету на 1936 рік, де в той час працювали такі відомі фізики, як Гайзенберг, Гунд, Дебай. Після стажування Василь Міліянчук працював в університеті м. Вільно (січень-листопад 1937 р.), куди переїхав професор Степан Щенювський, а з 1 листопада 1937 р. став старшим асистентом кафедри теоретичної фізики Львівського університету, яку очолював тоді професор Войцех Рубінович.

Доктор Василь Міліянчук став одним з провідних фізиків тодішньої Польщі, про що свідчить запрошення, на конференцію Польського фізичного товариства в дні 20-22 березня 1939 року в Кракові з фізики ядра, де Василь Міліянчук виступив з двома доповідями: „Розрахунок енергії зв'язку” і „Границі застосовності теорії квантів”.

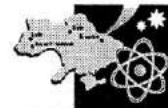
У вересні 1939 року Польща стала черговою жертвою нацизму, і тільки в січні 1940 року відновив роботу Львівський університет імені Івана

Франка як вищий навчальний заклад Радянської України. Доктора Василя Міліянчука призначили виконувати обов'язки завідувача кафедри теоретичної механіки. З червня 1941 р. після нападу Німеччини на СРСР і до осені 1944 р. університет не працював. Кожен як міг знаходив роботу. Не був винятком і доктор філософії Василь Міліянчук, який у цей воєнний час викладав на сільськогосподарських курсах. Бо ж навіщо Німеччині освічені українці – достатньо дати їм хліборобські знання!

У жовтні 1944 р. Львівський університет відновив роботу, і упродовж 1944-1946 рр. Василь Міліянчук працював на посаді доцента кафедри експериментальної фізики. Після від'їзду професора Войцеха Рубіновича до Польщі на початку 1946 року, Василя Міліянчука 20 березня цього ж року призначили виконувати обов'язки завідувача кафедри теоретичної фізики. 18 травня 1946 року Вища Атестаційна комісія при Міністерстві вищої освіти СРСР присудила Василеві Міліянчукові науковий ступінь кандидата фізико-математичних наук і звання доцента як докторові філософії з довоєнного періоду. На той час це була загальноприйнята практика в СРСР щодо наукових кадрів „нерадянського” походження.

1 вересня 1953 року Василя Міліянчука призначили на посаду професора кафедри теоретичної фізики та її завідувача. Керівником цієї кафедри він залишався до кінця свого подальшого життя.

Василь Міліянчук був блискучим педагогом, читав лекції з курсів теоретичної фізики – електродинаміки, квантової механіки, статистичної механіки, різноманітні спеціальні курси. З 1950 р. він започаткував спецкурс з квантової теорії поля, яка бурхливо почала розвиватися з кінця 1940-х років (Томонага, Швінгер, Дайсон, Фейнман). Науковий напрям професора Василя Міліянчука визначається як теоретична спектроскопія, а саме вплив неоднорідного електричного поля, яке породжується зарядженими частинками плазми газового розряду, на спектральні лінії. При цьому змінюються правила відбору – з'являються нові лінії, змінюються їх інтенсивності тощо. Творчий доробок післявоєнного періоду Василя Міліянчука підсумував у докторській дисертації „Вплив



неоднорідного міжмолекулярного поля на атомні спектри”, яку після річного стажування у 1955 - 1956 н.р. успішно захистив у Фізичному інституті ім. Лебедева АН СРСР. 20 червня 1956 року йому присвоїли науковий ступінь доктора фізико-математичних наук.

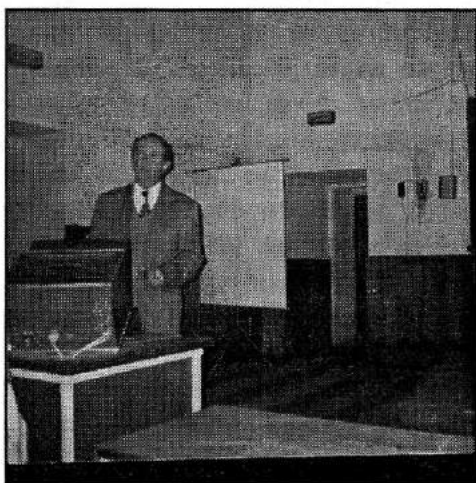
Професор Василь Міліянчук був ученим з широким діапазоном наукових інтересів. Він керував дипломними роботами та кандидатськими дисертаціями. Кожен з його учнів мав змогу обирати свій шлях у науці, і з кожним з них пов'язувався практично інший науковий напрям. Серед його учнів були академік АН СРСР Є. Фрадкін, професори А. Свідзінський, І. Тальянський, доценти М. Сеньків, П. Тацуняк. Професор Василь Міліянчук прекрасно орієнтувався і в експериментальній фізиці, часто ініціював нові експериментальні дослідження. Він мав значний вплив на формування львівської школи фізиків-оптиків, професорів М. Романюка, Я. Довгого, О. Влоха, доцента В. Вишневецького, дослідників з фізики атомних та йонних зіткнень доцентів Б. Палуха, Р. Кушніра.

6 вересня 1958 року Вища атестаційна комісія СРСР присвоїла Василеві Міліянчукові звання професора. А вже 3 листопада 1958 року несподівано обірвалося життя цього талановитого вченого – визнаного спеціаліста з теорії атомних

спектрів. Втрата, як з'ясувалося, була надто важкою для фізичного факультету Львівського університету імені Івана Франка. Можна стверджувати, що відсутність сьогодні на фізичному факультеті такого важливого наукового напрямку у фізиці, як квантова теорія поля і пов'язаних з нею теорій елементарних частинок, теорій об'єднання взаємодій тощо пов'язані з цією втратою.

Але на фізичному факультеті після професора Василя Міліянчука залишилось щось значно важливіше. У самій аурі факультету є те, що сформувався під безпосереднім впливом не тільки видатного вченого, але і Великої Людини, безмежно толерантної, винятково доброї, уважної, готової допомогти кожному і не тільки науковими порадами. Ті, хто мав змогу бувати в сім'ї Професора пам'ятають виняткову гостинність його і дружини Івонни Міліянчук. Такою, але великою сім'єю під благодійним впливом Професора формувався і сам фізичний факультет. Віримо, що цей спадок, поряд з науковим, визначатиме дух фізичного факультету і в майбутньому.

**Олександр ПОПЕЛЬ,**  
доцент, канд. фіз.-мат. наук



*О.Попель під час виступу на конференції.  
Січень, 2000 р.*

У січні 2000 року на фізичному факультеті Львівського національного університету імені Івана Франка відбулася конференція, де вшанували пам'ять професора Василя Міліянчука з нагоди його 95-річчя від дня народження.

На жаль, небагато збереглося надрукованого про цього видатного ученого, який жив і плідно працював у складний історичний період нашої історії.

Редакція журналу „Світ фізики” має намір опублікувати спогади про професора Василя Міліянчука.

Матеріали, фотографії та інші документи просимо надсилати на адресу редакції: вул.Саксаганського, 1, 79005 м. Львів.





# СМАКУЛОВА ГОРА

*Я от уже понад сорок літ  
скитаюсь на чужині,  
але своєї Батьківщини  
не забув і повік не забуду*

(О. Смакула, з листа 25.09.64 р.)

Поділля славно мальовничими горами Товтрами, які ми знаємо ще як Медобори. Серед їхніх північних відрогів, неподалік від міста Збаража, що на Тернопіллі, на невисоких пагорбах – село з красномовною назвою – Доброводи. Майже сто років тому в садібі, що на горі, яку і зараз називають Смакуловою, теплою вересневого дня (09.09.1900) у сім'ї Теодора і Марії Смакулів – радість: народився другий син – Олександр, якому судилося важка і славна життєва дорога до вершин науки. Він став видатним німецьким, а потім і американським фізиком.

В історію науки він увійде як один з найвизначніших українських фізиків ХХ століття.

*Чи благодатний мікроклімат Медобор, чи багатівікові намагання жителів цього краю вижити на перехресті торгових шляхів та ворожих навал, але ця земля дала Україні безліч славних імен. Серед них і знамениті в науці земляки Смакули: Іван Пулюй – один з першовідкривачів Х-променів; відомі українські математики – Володимир Левицький та Микола Чайковський; педагог, мово- і літературознавець Олександр Барвінський; історик Мирон Кордуба; біохіміки – Оскар Парнас та Іван Горбачевський ...*

Шлях у науку розпочався для Смакули з родинного гнізда, де у саду під велетенською липою збиралась у погожі дні сусідська дітвора: виконували шкільні завдання, уважно вислуховували пояснення маленького, кмітливого і дуже

допитливого „учителя” Олександра. Потім була Збаразька, а пізніше – Тернопільська гімназія. Останню Олександр Смакула закінчив 1922 року з відзнакою.

А поміж тим – високі пориви на історичному зламі, що зветься Першою світовою війною. У молоді роки юнак поширював серед односельчан слово Шевченка і Франка, організовував українські вистави Старицького, Карпенка-Карого, за що неодноразово мав неприємності від польської влади. А державницькі ідеї та сподівання покликали його до лав Української Галицької Армії.

І яким твердим мав бути характер здібного до природничих наук хлопця, щоб, незважаючи на скрутний час і закохані погляди сестри побратима, за порадою вчителя (відомого українського математика М.Зарицького) податися до далекого німецького міста Геттінгену, у знаменитий університет Георга Августа. А вже через п'ять років Олександр Смакула став доктором філософії, працював у фізичному інституті поряд з Гайзенбергом, Борном, Полем. Більш ніж 50-річний шлях наукових пошуків та відкриттів розпочав професор Смакула, як засвідчує диплом математико-природничого факультету, отриманий 13 грудня 1927 року, з дисертації на тему „Абсорбційні спектри лужно-галоїдних фосфорів, активованих металами – сріблом і міддю”. Це підтверджує і виданий тим же університетом 1977 року диплом за заслуги у фізиці твердого тіла та реалізацію на практиці наукових відкриттів і розробок. А чим були заповнені ці 50 років?



*Наука – явище інтернаціональне, а українська наука – частина цього глобального наукового процесу. Щоб переконати передусім наше суспільство та світ взагалі, що ми не є меншовартісною державою, приходять нам на допомогу історія науки і ті корифеї нашого пантеону, які творили впродовж століть як на нашій землі, так і за її межами. Ми повинні знати історію науки і тих, чиї імена та здобутки створили її. Переконуєшся, що час виховувати нові покоління не на історії наших втрат, поразок і руїн, а на історії звершень і слави. Усвідомлюючи це, як не привітати створення громадських об'єднань на кшталт Фонду О. Смакули (Голова – проф. Ярослав Довгий), що мають за мету повернути забуті або замовчувані імена, вивчати і поширювати наукову спадщину видатних українських учених, винахідників.*

Був на початку наукової біографії О. Смакули і такий красномовний факт, як перебування і нетривала праця в Одеському університеті (1928). Переконавшись у безперспективності творчої праці у тодішній тоталітарній системі, він дає телеграму умовним текстом своєму керівникові, який відкликає його до Німеччини. Незважко передбачити, яка перспектива чекала б його в іншому випадку.

Чим же зумовлено те, що ім'я О. Смакули часто знаходимо у зарубіжних енциклопедіях, посібниках, монографіях? Як констатували учені різних країн на І Смакуловому симпозиумі (Львів, 15-16.05.92 р.), для цього достатньо лише нагадати формулу Смакули або відкриття способу просвітлення оптики, яке спричинило революцію в оптичній, фотографічній та кінематографічній технологіях. А окрім того, дослідження взаємодії випромінювання з конденсованими середовищами. Дуже важливі праці з біофізики, виконані у лабораторії Р. Куна – Нобелівського лауреата, кристалографічні вимірювання органічних кристалів для утотоження вітамінів А, В<sub>2</sub>, D; наукові проекти з вирощування монокристалів і їхнього застосування у різних електронних пристроях; відомі праці з метрології, оригінальний метод визначення числа Авогадро. Тому не дивує безліч посилань у науковій літературі на праці Смакули. Наприклад, лише за 1967 р. таких посилань близько 100.

Та повернімось у 1935 рік, коли Смакула отримав перший у світі патент на спосіб виготовлення

просвітленої оптики. Після винаходу фотографії (1840) на відбивання і розсіювання світла довгий час не звертали уваги. Лише 1887 року Релей передбачав доцільність появи поверхневого шару під час старіння оптичних елементів, а Тейлор (1896) пропонував лінзи з помутнілими поверхнями. А винаходом Смакули – противідбивним шаром, яким покрито лінзи фотоапаратів, далековидів, теодолітів, мікроскопів, телескопів – повсякденно користується все цивілізоване людство. Суть цього так званого просвітлювального покриття оптичних поверхонь у тому, що нанесення спеціального тонкого (на 1/4 довжини світлової хвилі) шару значно зменшує відбиття світла (а такі втрати світла можуть перевищувати 50 %) від поверхні лінзи і набагато поліпшує просвітлення оптики та значно збільшує контраст фотографій та відображень. Це відкриття і розпрацювання технологій та апаратури для одержання багатошарових плівок О. Смакула зробив, працюючи директором дослідної лабораторії у німецькій оптичній фірмі Zeiss у місті Єні.

*Чи пам'ятають у знаменитому оптичному центрі Карла Цейса автора відкриття просвітлення оптики? Про це свідчить не лише експозиція Оптичного музею Фонду Ернста Аббе в Єні, а й той факт, що Німецька спілка художньої та наукової фотографії нагородила О. Смакулу Премією культури за 1966 рік. Не лише вмінною достойно відзначати видатні здобутки та їхніх творців слід би повчитись у німецьких колег. Так, короткотривале перебування два роки тому на фірмі Цейса дало змогу авторові цих рядків переконатись, що на переході до сучасних ринкових умов східнонімецький досвід нам не гріх було б запозичити. А саме, не допустивши руйнації технологічного потенціалу, держава безвідсотковими кредитами підтримала у складний час весь оптичний комбінат, стабілізувала його виробництво і лише після цього роздержавила його на 16 невеликих, але здебільшого процвітаючих підприємств.*

Особливо важким, як фізично, так і морально, був для О. Смакули період Другої світової війни. Тяжка праця у гітлерівській Німеччині супроводжувалась голодом, холодом; тоді ж помер і його син. А 1945 року разом з іншими фізиками Смакулу вивезли до США, де він у військовому фортифікаційно-лабораторії у штаті Вірджинія досліджував чутливі до інфрачервоного випромінювання матеріали. І



лише 1951 року він став професором найбільшого та найвідомішого політехнічного університету в Америці – Массачусетського технологічного інституту. У той час в МТІ (м. Бостон) працювали такі вчені світового рівня, як „батько” кібернетики Норберт Вінер, теорію перемикачів творив Клод Шеннон, а теорію інформації – Джеральд Віснер та інші. І поруч з ними – Олександр Смакула, якого вважали тоді найбільшим експертом у світі в галузі монокристалів та їх застосування у різних електромагнетних пристроях і системах. З 1964 року став директором лабораторії фізики кристалів, згодом (лише він один серед українців) повним професором МТІ. В його опублікованих понад 80 працях проаналізовано не лише традиційні методи вирощування монокристалів (з розчину, з розплаву), а й нові на той час методи вирощування з газового стану, з полум'я; розроблено методи рекристалізації, очищення кремнію для напівпровідникових застосувань (транзистори та інтегральні схеми); досліджено зміни властивостей кристалів під впливом радіації та дефектів ...

Ще й сьогодні не втратив своєї актуальності один з найкращих підручників з практичної кристалографії – 500-сторінкова монографія О.Смакули „Монокристали”. Відома формула Смакули, що широко застосовується у фізиці твердого тіла, встановлює зв'язок між силою осцилятора, концентрацією центрів поглинання та величиною інтегрального поглинання. Цю формулу можна порівняти з формулою Планка для випромінювання термодинамічно рівноважних систем.

А попри це О.Смакула був, як свідчать ті, хто знав його, надзвичайно скромною та інтелігентною людиною. Людиною, свідомою своїх коренів, свого походження. Це підтверджує і його діяльність у Товаристві українських інженерів в Америці, у Науковому товаристві імені Шевченка, великою домашньою бібліотекою, і нарешті, родинним архівом, який ще потребує дослідження.

*Сьогодні Україні вкрай потрібні небадюжні люди, з терпінням і жертовністю. Хто ж вони? На подібне запитання відповідає доктор біол. наук Т. Палладіна у статті „...Свого не цурайтесь” (газета „Зеркало недели” від 04.01.97 р.): „...Українському народу з його достоїнствами та недоліками, в тому числі ... з нездатністю об'єднуватись навіть у критичні моменти своєї*



Олександр Смакула з дружиною

*історії, може допомогти лише інтелігенція”. Та чи в Україні сьогодні може реалізуватись творчий талант, чи тільки за її межами? Чи насправді наша інтелігенція стала найбільшій частинною працездатного населення, відчуючи свою непотрібність? Невже держава неспроможна створити нормальні умови вченим для праці, а не лише займатись сумними підрахунками наших втрат – кількості кращих науковців, які від їжджають за кордон? Пора подумати і про узаконення подібного відриву наших учених, підтримуючи постійний зв'язок з тими, хто виїхав, гарантуючи їм збереження умов для творчої праці після повернення. Лелеки повинні й будуть повертатись до рідних гнізд, якщо ці гнізда не зруйновані.*

На рідну землю Олександр Смакула востаннє ступив у вересні 1972 року під час поїздки на Міжнародну конференцію з кристалографії, що відбувалася у Вірменії. Через 50 років з того часу, як він з батьківської домівки пішов у світ широкий, знову зібрались родичі на своїй – Смакулової горі. Бо в кожного є своя гора, своя товтра (як кажуть на Поділлі), своя вершина, яку конче треба завойовувати...

Помер Олександр Смакула 17 травня 1983 року.

**Богдан КИЯК,**  
директор Державного фонду  
фундаментальних досліджень  
Міністерства освіти  
і науки України





## УНІВЕРСИТЕТ «ОСТРОЗЬКА АКАДЕМІЯ»

*О, Академія! Не каюсь,  
Що стільки літ тобою снів.  
Вернувся знов „Гаудеамус”  
До нас із віхоли віків.*

Микола Козлик



Лукрецій Кар у праці „Про природу речей” писав: „Ніщо з нічого не виникає і нікуди безслідно не зникає”. Така доля Острозької Академії, адже проіснувавши понад 50 років у XVI-XVII ст., вона дала початок вищій освіті в Україні. Сьогодні ми знову говоримо – VIVAT ACADEMIA!

Місто Острог, перша згадка про яке датується 1100 роком в Іпатіївському літописі, знаходиться у мальовничому місці Рівненської області, поблизу злиття річок Горині й Вілії. Як відомо, у XVI-XVII ст. Острог був відомим економічним, військовим, політико-адміністративним та культурно-освітнім центром України. Сучасники вважали його Волинськими Атенами. Наприкінці XVI ст. внаслідок політичних і релігійних утисків Великий князь Костянтин Острозький заснував тут перший вищий навчальний заклад для православних. Освіта у цьому закладі відповідала всім вимогам тогочасного суспільства. Найвидатніший український історик Михайло Грушевський, надаючи велику увагу Острозькій Академії в її історичному минулому, зазначав, що вона була „першим огнищем нової освіти, нового шкільництва, нового життя”, і що „се піднесення ініціативи і культурної енергії робить враження якогось блискавичного феєрверку”, було це – „справжнє

відродження в повнім значенні того слова”. Упродовж 1576-1638 рр. в Острозькій Академії проводилась викладацька та науково-дослідна робота. Сюди приїздили спеціалісти з Греції, Польщі, Чехії та інших країн. Серед випускників Академії – визначні політичні, культурні та церковні діячі: Петро Конашевич-Сагайдачний, брати Дем’ян та Северин Наливайки, автор української „Граматики” Мелетій Смотрицький, Іов Борецький, Захарія Копистенський, Єлисей Плетенецький. Після смерті князя Острозького через різні обставини Академія припинила свою роботу, заклад було закрито.

12 квітня 1994 року указом Президента України Леоніда Кравчука вона була відновлена як Острозький Вищий Колегіум. У грудні цього ж року 100 спудеїв розпочали навчання на підготовчому відділенні. У вересні 1995 року економічний, історичний та культурологічний факультети прийняли перших студентів. У червні 1996 року Президент України Леонід Кучма підписав указ, яким повернув закладові його історичне ім’я, перейменувавши Острозький Вищий Колегіум на Острозьку Академію. Відповідно до Указу Президента України Леоніда Кучми від 22.01.2000 № 88/2000 Острозька Академія надалі іменується Університет „Острозька Академія”.



Університет „Острозька Академія” – це вищий заклад освіти, ліцензований та акредитований Міністерством освіти України. Громадяни нашої держави та інших країн можуть тут отримати ґрунтовні знання та набути академічного (навчального) досвіду. Академія поєднує ґрунтовне навчання та багату духовну атмосферу, що допомагає краще зрозуміти історію та культуру України.

Висококваліфікований професорсько-викладацький склад забезпечує належне викладання та допомогу студентам. Академію часто відвідують професори провідних університетів України та світу, які читають лекції, проводять семінари та викладають спецкурси.

Сьогодні в університеті діють економічний, гуманітарний та правничий факультети, підготовче відділення, відділення заочної форми навчання за спеціальностями економіка та право, де навчається талановита молодь з усіх куточків України.

План навчання включає стандартні загальнообов’язкові курси (гуманітарні, суспільні та економічні науки як основні, так і спеціальні (професійні)), факультативні курси, курсові роботи та наукові праці, що входять до державної програми підготовки бакалавра.

Для поглиблення знань з економіки, розкриття свого творчого потенціалу студенти створили клуб „Економіст”, сформували проблемні групи.

Модульна система навчання, яка діє в Університеті, дає змогу запрошувати для читання окремих курсів фахівців з Києва, Львова, Тернополя, Чернівців, а також з-за кордону.

Студенти факультету беруть участь у наукових конференціях як всеукраїнських, так і міжнародних, є учасниками різноманітних обмінних програм, бізнес-навчання за кордоном. Вже сьогодні на випускників цього факультету є замовлення від відомств і організацій.

Найкращі студенти усіх факультетів отримують іменні стипендії та гранти різних фізичних та юридичних осіб як в Україні, так і за її межами.

Острозька Академія має високорозвинену інфраструктуру. Академічна бібліотека володіє книжковим фондом та періодикою. До послуг спудеїв – комп’ютерні класи з найновітнішим

обладнанням.

Це дає змогу студентам працювати в різних напрямках, залучаючи до навчання мережу ІНТЕРНЕТ. Нещодавно в Академії було відкрито лінгафонний кабінет, аналогів якому важко знайти у най-

більших освітньо-лінгвістичних центрах України. Одночасно тут можуть працювати 22 студенти, тобто вся група. Академічна бібліотека має багатий книжковий фонд та періодики.

Відділ міжнародного співробітництва підтримує зв’язки з освітніми закладами та організаціями світу. Тісна співпраця цього відділу Острозької Академії з світовими організаціями: „Canada World Youth” (Канада-Світ-Молодь), „Rural Foundation” (Водна Фундація), „Ostroh Academy Youth Exchange Program” (Програми молодіжного обміну Острозької Академії), дозволила нашим студентам проходити стажування в Канаді, США, Польщі, Туреччині, Англії. За відгуками, вони зарекомендували себе на найвищому рівні.

Студентське Братство, до якого може вступити кожен спудей – це студентський орган самоуправління з розгалуженою мережею підрозділів. В Академії працюють студентський театр і хор. Учасники академічного хору та театру за досягнення у розвитку художньої творчості Академії, Постановою Президії Ради Федерації професійних спілок України було присвоєні почесного звання Народного самодіяльного колективу.

Великий стадіон і добре обладнаний спортивний зал забезпечують всі умови для підтримання здоров’я та фізичної форми студентів. Багато з них є учасниками секцій (футбол, баскетбол, легка атлетика, бадмінтон, теніс, волейбол, з січня 2000 р. відкрито секції з боксу і карате) і





їхніх команд. Нещодавно у Миколаєві проходив перший етап Універсиади вищих закладів освіти „Єдина родина”. Додому наші студенти повернулися з перемогою, що й засвідчує диплом Державного комітету України з фізичної культури і спорту. З 18 до 23 жовтня проходив наступний етап на базі Острозької Академії.



Студентське наукове товариство дає змогу розкривати свої таланти спудеям, які глибше цікавляться наукою.

Острозька Академія розвивається вже впродовж п'яти років. Хоч вона є однією з наймолодших в Україні, проте авторитет її дуже виріс. Вона справді молода як „духом”, так і „тілом”. Варто відзначити, що декани трьох факультетів (гуманітарного, економічного і правничого) ледь сягають 30-річного віку.

Діяльність Острозької Академії, високий рівень наших освітніх технологій та потужну матеріальну базу 1998 року було відзначено XXVII міжнародним призом „За якість”, що вручався у цьому році в Парижі. Сьогодні таку нагороду серед вищих закладів освіти України має тільки Острозька Академія. Ще одним етапом визнання її не лише в Україні, а й за її межами стало призначення її ректора, проф. Ігоря Пасічника членом Наукової ради Американського Біографічного Інституту. Згідно з цим призначенням Ігор

Пасічник має право висувати номінантів на визнання у багатьох галузях суспільного і громадського життя.

Неабиякий інтерес Острозька Академія викликає у світі. Часті приїзди високоповажних гостей з-за кордону зацікавлюють пресу і телебачення. У серпні цього року відбулося вручення Диплома та мантиї Почесного Академіка Острозького Академічного Братства президентові Українського Історичного товариства, професорові Любомиру Винару (США). Результатом надзвичайної співпраці кафедри історії Острозької Академії та Українського Історичного Товариства стало видання збірника наукових статей „Осягнення історії”.

Визначні науковці діаспори, такі, як проф. Богдан Колос, проф. Тарас Закидальський, представниця Союзу Українок у Чикаго Оксана Маслянюк всіляко сприяють утвердженню Острозької Академії на Північно-американському континенті. Більше того, професор Північно-Іллінойського університету др. Мирон Куропась координує проходження однорічного стажування наших викладачів у США.

Традиційними стали Міжнародні конференції на тему „Виховання молодого покоління на принципах християнської моралі в процесі духовного відродження України”. Під час останньої конференції Голова Комітету Верховної Ради України з питань культури і духовності Лесь Танюк вручив студентам нашої альма-матер стипендії ім. Олександрів Копач. До речі, про стипендії: студенти Острозької Академії постійно отримують гранти відомих представників української діаспори: імені В.Кузя, Д.Закидальського, О.Собчука та інші.

Плануємо започаткувати на історичному відділенні спеціальність „Політологія”. Прагнемо створити студентське містечко як в англійських Оксфорді чи Кембриджі.

Отож, приїздіть і самі переконаєтесь, що у нас справді цікаво!

**Лесь Михаленко,**  
студентка 4 курсу  
університету  
„Острозька Академія”



Редакція журналу „Світ фізики” упродовж 1999 року в рубриці „Актуальні проблеми” порушувала питання про стан викладання фізики та астрономії у вищих та середніх навчальних закладах України. Ми отримали чимало листів від наших читачів, яким також небайдужі ці проблеми. Публікуємо один з них.



## ЩО ЧЕКАЄ «МАЙБУТНЬОГО ВАШІНГТОНА» У ГЛУХОМУ СЕЛІ?

Олександра СУМАРУК

Питання порушені у статтях Дмитра Таращенка та Богдана Лукіяня (Див. „Світ фізики”. 1999 № 3-4) справді на часі. Загальна тенденція до скорочення годин з усіх основних предметів у школі, руйнування створеної довгими роками навчально-методичної бази, повна відсутність коштів на поповнення і осучаснення матеріальної бази, на жаль, культурна обмеженість учительства, відірваність чиновників від освіти від самої освіти як такої – це неповний перелік негативу, що насправді існує в царині шкільної освіти.

Але є й позитив. Школа ще не зруйнована так, як скажімо, виробництво. Учитель, як би держава не знущала над ним, все ж працює, і ще не зовсім втрачені ідеї ідеалізму, жертовності й ентузіазму серед учителів, хоча в наш час це може сприйматись, як смішна наївність. Виявляється конкуренція серед учителів та, на жаль, це помічають лише батьки. У школу приходять працювати освічена молодь і від неї залежить, якою стане школа майбутнього.

Є дуже багато чинників, які впливають на результати навчання і виховання дітей у школі. Серед них важливе значення мають особливості особистості: здібності, нахили, інтереси, потреби, мотиви та індивідуальні особливості психічних функцій дитини: пам'ять, увага мислення, емоції, воля. Але найважливішою умовою є все-таки ставлення до навчання.

Педагогіка тоталітарного режиму широко використовувала мотиви відповідальності, декларувала широкі соціальні мотиви, які зовсім не формувалися, бо не мали під собою національного підґрунтя і формувала пізнавальні інтереси. Це було позитивним та дало певні результати. Мотиви перспективи та індивідуалістичні мотиви з приходом в освіту корупції знівельовались,

а комунікативні під пресом так званого колективного виховання, яке було нічим іншим, як ігноруванням особистості, теж зникли. Таку спадщину в царині формування мотивів навчання ми отримали від минулого.

Яку картину маємо нині? Сучасна економічна криза, прагматичний підхід до життя більшості батьків створюють умови для сильних індивідуалістичних мотивів. Якщо б у суспільстві існував ринок інтелекту і не було б корупції, то спрацьовувала б мотивація перспектив. І це було б великим позитивним зрушенням не тільки в педагогіці, але і в житті цілого суспільства. Адже інтелект теж є товаром. Із України вивозиться не тільки сировина і товари, але й наш інтелект. Цим ми втрачаємо не лише сучасний людський ресурс, але й майбутнє держави. Мабуть у цьому винні ми усі. Державним структурам слід звернути на це увагу. Живучи в таких умовах діти не хочуть учитися, бо ніхто не гарантує їм належного рівня життя, поваги, значущості, яка залежить від освіти. У цьому і полягає криза педагогіки у наш час.

На що ж має спиратись сучасний учитель, звідки брати мотиви до праці? На жаль, частина учительства уже не сприймає ідею самопожертви і ентузіазму в роботі з дітьми. Це теж є результатом ставлення суспільства до освіти взагалі і до учителів зокрема.

Працюючи у школі понад 38 років, я бачу, що тільки широке використання пізнавальних мотивів (а це майстерність педагога) і формування широких соціальних мотивів, що ґрунтуються на вихованні національної свідомості і християнської моралі, може вивести школу з кризи. Щоб сформувати соціальні мотиви, мусимо, всупереч ситуації, виховувати повсякчасно високі почуття любові до України й до свого народу.

Предмет шкільної фізики важливий не лише для виховання майбутніх освічених громадян України. Фізика вчить мислити узагальнююче. Методи фізики дають змогу екстраполювати їх на різні види діяльності людини, в тому числі й на політичну. Врешті-решт фізика надзвичайно красива наука, яка описує наш дивний прекрасний світ. Ця наука розглядає речовину і поля в таких умовах і в таких вимірах, що це дає матеріал філософського осмислення світобудови, буття, вчинків і почуттів.

На першому етапі навчання фізики діти ознайомлюються з різними видами руху матерії на елементарному рівні. Тому тут дуже важливо добре унаочнити кожний урок, показати красу явища, мудрість Природи і Творця, навчити цінувати і любити світ, у якому живеш. У цей час учитель формує пізнавальний інтерес. Добрий ефект дають на початковому рівні вивчення фізики різноманітні ігрові методи: турніри, розв'язування кросвордів з фізичним змістом, проведення вечорів тощо.

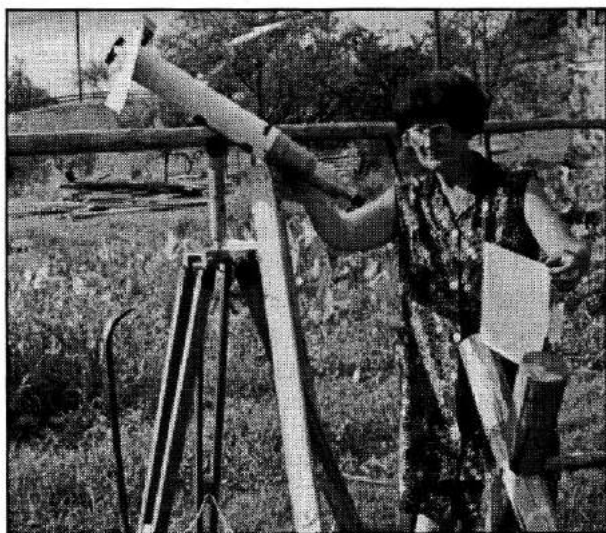
Другий етап – вивчення механіки – починається у 9-му класі. Це найважчий період у вивченні фізики і найважливіший. Закінчилися цікаві спостереження, складання електричних кіл, а натомість починається вивчення механічного руху з математичним описом, а математику люблять не всі. І мені стає жаль тих хлопчиків і дівчаток, в очах яких гасне запалений попереднього року вогник і настає розчарування. І тут мусиш засто-

совувати мотиви відповідальності, тобто діяти так: „Я змушу тебе вивчити математичну основу явищ, але обіцяю тобі, що це також буде цікаво”.

Аж у 10-11 класах настає час на завершення формування широких соціальних мотивів. Важливо, щоб на це працювали усі педагоги школи. Велику роль відіграє матеріал з історії фізики, приклади подвижництва і героїзму, цікаві долі учених-фізиків. В історії науки є чимало прикладів високого служіння істині, самовідданості, жертовності: Ом, Кеплер, Фарадей, Торрічеллі, Джордано Бруно, Галілей і багато інших. У тоталітарному режимі наша нація втрачала людей під час геноцидів, замовчувались імена українських учених (Юрій Дрогобич, Іван Горбачевський, Іван Пулюй, Микола Чайковський і багато інших), приписували до теніїв „старшого брата”, як сталося з Ціолковським, Наливайком, Шаргесем-Кондратюком, Корольовим і ще багатьма іншими.

Сьогодні є очевидною невизначеність спрямованості школи. Можливо умови життя приземлюють учителів до споживацького рівня і небажання втручатися у суспільні процеси. Можливо страх перед безробіттям. І це передається дітям. А треба виховувати еліту. Вже є гімназії, ліцеї, приватні школи. Це добре. Але як бути тим дітям, які не потраплять туди через, знову ж таки, соціальні причини?

І що робити „майбутньому Вашингтону” у глухому селі? Чи почекаємо на імпортного?



## Олександра СУМАРУК

учитель-методист, відмінник народної освіти, має 38 років педагогічного стажу, 25 років керує астрономічним гуртком на базі астрономічної обсерваторії СШ № 1 ім. Т.Шевченка у м. Самборі на Львівщині.

„... астрономія виховує людей, які дивляться на небо. А на ньому лише зорі:  
небо – це Бог,  
небо – це висока духовність,  
небо – це гармонія і краса Всесвіту,  
небо – це незбагненна Таїна.  
... не шукаймо скарбів під ногами,  
а частіше дивімось у небо!”

## СЛОВО ПРО УЧИТЕЛЯ

„Віра без діла мертва ...”

Цьогорічні різдвяні свята давньогрецький бог Неба Уран, без сумніву, проводив у старовинному прикарпатському місті Самборі Львівської області. Тут юні астрономи та їхні наставники святкували 40-річчя створення астрономічного гуртка та 25-річчя побудови астрономічної обсерваторії у СШ № 1. Чи велика астрономічна громада в Самборі? Майже тисяча самбірчан, що за 40 років прилучилися до спостережень неба та зробили деякі кроки в науковому аналізі астрономічних явищ становлять майже 2 відсотки усіх жителів міста і, удвічі перевищують за концентрацією астрономів світового чемпіона серед міст – місто-державу Ватикан, де серед тисячів ватиканців приблизно один відсоток становлять працівники папської обсерваторії.

Але чи можна роботу гуртківця вважати науковою? Вирішуйте самі. Починаючи з 1961 року, велися спостереження сонячних затемнень на території від Карпат та Румунії (1999) до Соловецьких островів (1990) та Іркутської області (1981). Постійно ведуться спостереження зоряного неба, планет, сонячної активності, а про свято появи чергової комети і говорити нічого. На першому представленні результатів роботи гуртківців на обласній науковій конференції школярів астрономи-професіонали з Астрономічної обсерваторії Львівського університету були вражені розмахом роботи „звичайного гуртка”, коли гуртківці представили результати багаторічних досліджень впливу сонячної активності на врожайність сільськогосподарських культур, поширення дитячих хворіб і навіть на успішність учнів!

Про наукові результати юних самбірських астрономів доповідали (годі перелічити усі нагороди!) на конференціях та зльотах у Києві, Харкові, Москві, Зеленчуку (одна з найбільших у світі обсерваторій, Північний Кавказ).

Та не астрономією єдиною живе самбірська астрогромада. З часом звичайний гурток переріс в астрономічне братство, товариство людей, яке своїми руками будувало обсерваторію, регулярно здійснювало мандрівки по рідному краю, разом відзначало свята, організовувало шкільні вечори із театральними виставами своїх авторів, але й для якого захоплення таємницями неба стало пер-

шим кроком до пізнання таємниць Буття та визначення свого життєвого ідеалу. Ідеалу, що ґрунтується на потребі служити Добру та Батьківщині, Пам’яті про минуле та Вірі в майбутнє.

Не дивно було б, якби такі успіхи мали школярі великих обласних центрів з академічними установами, вищими навчальними закладами, багатим бюджетом. Але чому цей феномен виник саме у провінційному Самборі – місті давньому (заснованому 1236 (?) року), яке дало Україні гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, письменника Андрія Чайковського, актора та театрального режисера Леся Курбаса, але в якому тепер немає жодного вищого навчального закладу, чи навіть одного великого підприємства?

Творець цього феномена відомий – це Олександра Сумарук, викладач фізики за професією та Учитель за покликанням. Керівник астрономічного гуртка з 1974 року, будівельник на будівництві шкільної обсерваторії, автор та режисер шкільних вистав, художник-оформлювач приміщення обсерваторії, організатор та керівник експедицій та походів. Та найголовніше – духовний наставник, головною рисою якої є рідкісний сплав віри у поступ та здатність реалізувати задум. Недаремно свого часу Іван Франко читав самбірчанам свою поему „Мойсей”. Її дух втілюють у життя разом з пані Олександрою її колеги – засновник гуртка 1958 року тодішній директор СШ № 1 Г.Машура, учитель фізики, керівник гуртка космічного моделювання М.Сумарук, колишній гуртківець, а зараз керівник астрономічного гуртка, при ДЮСШ О.Возна та багато інших.

То ж коли почувте напівриторичне: „Що може простий учитель у звичайній школі?”, то скажіть: „Учитель може запалити тисячу сердець і виховати тисячу чесних громадян-патріотів”. І першим кроком може бути не лише астрономія, а й література, історія, музика – багато шляхів ведуть до Істини. Та дорогу осилиш, йдучи. То ж зараз, коли історія знову гостро поставила питання – бути чи не бути українській нації – згадаймо самбірський приклад, ще раз прочитаймо пролог до Франкового „Мойсея”, зміцнімо в собі віру і ділом станьмо на бік добра, бо віра без діла мертва.

**Богдан ГНАТИК,**  
докт. фіз.-мат. наук





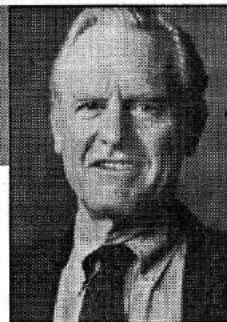
Статус Нобелівського фонду публічно, виголосили на засіданні Королівської ради 100 років тому (29 червня 1900 р.). Премії з фізики і хімії присуджує Шведська Королівська Академія наук; з фізіології і медицини – Нобелівська асамблея Королівського інституту в Стокгольмі; з літератури – Шведська Академія у Стокгольмі; премію миру – Норвезький Королівський комітет; премію з економіки пам'яті Альфреда Нобеля (заснована 1968 р. на пропозицію Шведського банку з нагоди його 300-річчя) – Шведська Королівська Академія наук. Згідно із статусом Нобелівська премія присуджується не більше, як трьом особам, незалежно від національності та громадянства лауреата.

## НОБЕЛІВСЬКІ ЛАУРЕАТИ

# 1990



Джероум Фрідман



Генрі Кендал



Річард Тейлор

### Полювання за кварками ...

Нобелівську премію з фізики 1990 року Шведська Королівська Академія наук присудила Джероуму Фрідману (Friedman J.I.), Генрові Кендалу (Kendall H.W.) та Річардові Тейлору (Taylor R.E.) за дослідження глибоко непружного розсіяння електронів на нуклонах, які дали змогу встановити структуру нуклонів та експериментально підтвердити існування кварків.

Розсіяння одних частинок на інших було започатковано в лабораторії Резерфорда ще на початку ХХ століття і привело до виявлення атомного ядра й створення планетарної моделі атома. Розсіювання стало основним дослідницьким інструментом учених у мікросвіті. Джерела  $\alpha$ -частинок, які використовувались в лабораторії Резерфорда випромінювали також і електрони ( $\beta$ -частинки), однак імпульс таких електронів був малим і вони не могли подолати бар'єр електронної хмаринки атома. Тобто на перших етапах дослідження атомного ядра електрони не знайшли застосування. Пізніше Франк і Герц використали розсіювання електронів для вивчення електронних конфігурацій атомів, а Джемер і Девідсон – електрони для дослідження поверхні твердих тіл (дифракція повільних електронів). Отже, на середину ХХ століття електрон зарекомендував себе як надійний дослідницький „зонд” у різних галузях фізики.

Згодом, коли розвиток прискорювачів дозволив отримати електрони достатньо високих енергій, учені почали використовувати їх для дослідження атомного ядра. Вперше такі дослідження розпочались 1948 року на лінійному прискорювачі електронів у Стенфорді. Метою досліджень було вивчення структури ядер методом розсіювання електронів. Принцип невизначеності Гайзенберга обмежує просторову область розсіяння до меж  $\sim h/p$ , а це означає, що імпульс, а також і енергія електрона повинні бути досить великими, щоб можна було розрізнити малі структури.

1953 року, після введення в дію першої черги лінійного прискорювача Марк-III, у лабораторії фізики високих енергій у Стенфорді отримали електронний пучок з енергією 225 МеВ. Дослідники доповнили цей прискорювач магнетним спектрометром, який повертався навколо мішені і давав змогу вимірювати різні кути розсіювання та енергію розсіяних електронів. Менш, ніж за рік на цій установці отримали перші підтвердження пружного розсіювання електронів на протонах при використанні поліетиленової мішені. Згодом дослідники сконструювали газоподібну водневу мішень, що дозволило зменшити фон у спектрах розсіювання. 1955 року ввели в дію другу чергу прискорювача Марк-III. З'явилися нові можливості: енергія прискорених електронів досягла 550 МеВ, що відповідає довжині хвилі де Бройля меншій від

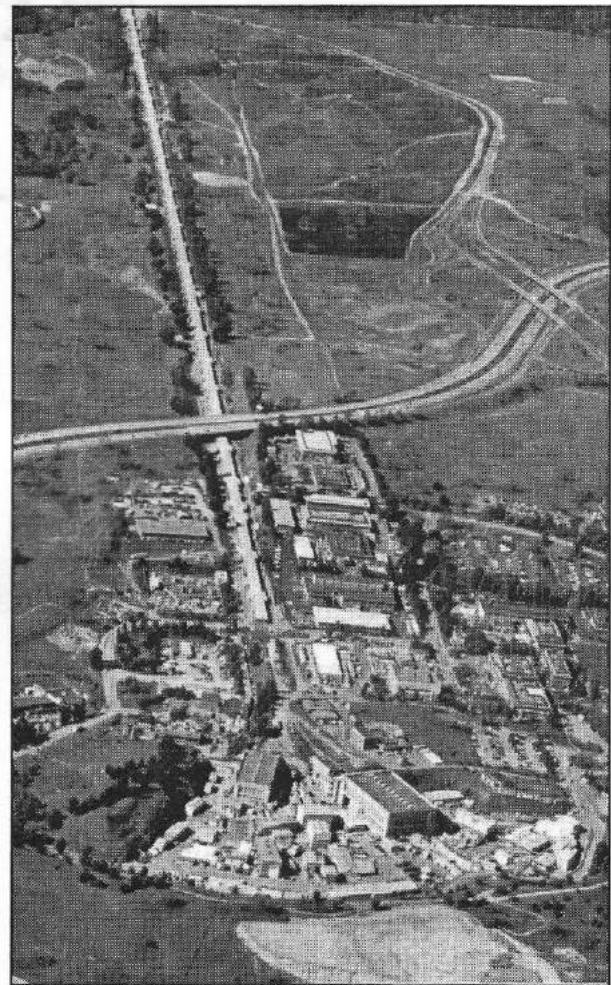


характерних розмірів ядра. Отже, використовуючи цей прискорювач, можна досліджувати структуру атомного ядра. Ці дослідження очолив Роберт Гофстедтер (R. Hofstadter).

Учені застосували вдосконалене спектrometerичне обладнання і мішень зі зрідженого водню. За допомогою цього обладнання було досліджено величину і форму багатьох атомних ядер. Встановлено, що всі вони мають приблизно однакову густину, а об'єм ядра пропорційний до загального числа протонів і нейтронів. „Майже постійна” густина ядер становить  $2 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$ . Як би крапля води мала таку густину, то важила б 2 мільйони тонн. Згодом цей прискорювач реконструювали і він став розганяти електрони до енергії 1000 МеВ. Р.Гофстедтер\* та його група приступили до дослідження внутрішньої структури протонів і нейтронів – частинок, з яких складається атомне ядро. У 1956-1957 роках вони визначили розміри і форму протона та нейтрона. Показали, що протон не точковий, а протяжний об'єкт з „розмірами” близько  $0,8 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ , і що протони та нейтрони є різновидами однієї і тієї ж частинки, що отримала назву нуклон. Встановлені розміри нуклонів разом із загальновідомим твердженням, що протяжні об'єкти мають внутрішню структуру, поставило перед ученими завдання вивчити цю структуру. Хоча у той час мало хто сумнівався в „елементарності” протона. Успіх цієї програми спричинив до того, що експерименти з розсіяння електронів почали виконуватись й на інших прискорювачах. Виникла потреба створити суттєво більший лінійний прискорювач електронів – довжиною дві милі.

Після річних дискусій та інженерних розрахунків фізики з лабораторії високих енергій в Стенфорді підготували пропозиції до створення нового потужнішого прискорювача. Проект такого прискорювача був створений 1957 року і затверджений Конгресом США 1962 року. Його спорудження розпочалось 1963, а закінчилось 1967 року. На той час це був найбільший і найдорожчий інструмент у фізиці, його вартість сягала

114 мільйонів доларів США. А сам прискорювач отримав назву Стенфордський лінійний прискорювальний центр (СЛАК) і, без сумніву, став однією з найвидатніших інженерних споруд 60-х років у світі. Цей лінійний прискорювач мав прискорювальну трубу довжиною дві милі, прокладену в тунелі на глибині 8 м та два експериментальні корпуси і розганяв електрони до швидкості  $0,9999999999 \text{ с}$ . Новітнім було й експериментальне обладнання дослідницького центру: найновіші на той час електронно-обчислювальні машини, різні сучасні спектрометри, які здатні були працювати в області енергії до 20 ГеВ та сучасні детектори, що реєстрували розсіянні електрони та вторинні частинки.



Стенфордський лінійний прискорювальний центр (СЛАК)

\* За особливо важливі дослідження розсіяння електронів на атомних ядрах та пов'язані з ними відкриття в сфері структури нуклонів Р.Гофстедтер був удостоєний Нобелівської премії з фізики 1961 року.



Дослідницькі групи та програма досліджень на новому прискорювачі сформувались 1964 року. Дослідження пружного розсіювання електронів розпочались на початку 1967 року.

Одні з перших експериментів, які проводились в СЛАКу, очолили Д.Фрідман, Г.Кендал та Р.Тейлор. Спочатку вони вирішили перевірити, чи нові частинки, відкриті з використанням інших прискорювачів, можна також отримати, використовуючи електрони. Дослідники розташували детектори під великим кутом до пучка електронів і знайшли в десятки разів більше розсіяних електронів, ніж передбачалось. Річард Фейман, який у той час відвідав СЛАК, пояснив цей результат тим, що у протоні можливо є декілька точкових центрів „твердих зерен”, які він назвав партонями.

Результати досліджень Д.Фрідмана, Г.Кендала та Р.Тейлора були повідомлені на конференції у Відні 1968 року і стверджували, що нуклони містять у собі деякі точкові об'єкти (партони). На існування партонів вказувало розсіювання електронів на нуклонах. Це були вражаючі й парадоксальні результати, оскільки вони суперечили тодішнім поглядам на природу нуклонів.

Минув рік, перш ніж ідея партонів привернула увагу інших фізиків. Новизна результатів зацікавила дослідників. Нею почали займатись як експериментатори, так і теоретики. З'явилися нові підтвердження і доповнення до раніше отриманих результатів.

Сукупність експериментальних та теоретичних робіт упродовж декількох наступних років з цієї проблеми, привела до того, що точкові складові нуклонів, які вперше виявили дослідники СЛАКу, були ідентифіковані як кварки\*. Уявлення про кварки-субчастинки запропонували 1964 року Гелл-Манн та Цвейг (незалежно один від одного). На думку учених це „цеглинки”, з яких побудовані адрони, нуклони, мезони та інші частинки, і які служать основою їхньої класифікації.

\* Слово *quark* придумав Гелл-Манн, який пізніше знайшов подібне слово *quark* в романі Джеймса Джойса „Поминки за Фінеганом” і прийняв його як таке, що мало зручніше написання. Джойс застосовував це слово, як спотворене слово *quart* (четвертинка).

Наприклад, згідно з цією гіпотезою протон складається з трьох кварків (заряд двох є  $+2/3 e$  і одного із зарядом  $-1/3 e$ ). Незважаючи на деяку корисність кваркової моделі побудови елементарних частинок, вона в 60-х роках мала досить низьку популярність як у середовищі теоретиків, так і експериментаторів. Ось одна із характерних оцінок кваркової моделі у науковій літературі тих років: „Кварки були введені штучно, щоб закодувати інформацію і не повинні розглядатись як реальні фізичні об'єкти”. Такі суворі оцінки ґрунтувались на тому, що ученим не вдавалось побачити кварки у вільному стані в космічних променях та прискорювачах, чого раніше не було в практиці фізиків у дослідженнях інших нових частинок. Постулювання дробового електричного заряду для кварків також було дивним і новим для більшості фізиків.

У сімдесятих роках на основі експериментів з глибоко непружного розсіювання електронів на нуклонах, які започаткували в Стенфорді Д.Фрідман, Г.Кендал та Р.Тейлор, підтвердилась кваркова структура нуклонів. Це послужило поштовхом до створення сучасної теорії кварків, глюонів та їх сильної взаємодії: квантової хромодинаміки (КХД). Успіхи цієї нової фізичної теорії незаперечні. Нею передбачено, а пізніше експериментально встановлено поведінку кварків, що вибиваються із нуклонів при високо енергетичних зіткненнях.

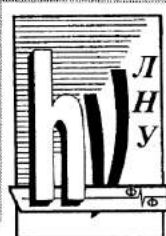
Так завдяки дослідженням глибоко непружного розсіювання електронів Нобелівськими лауреатами зазнали докорінної зміни погляди на структуру нуклонів та інших адронів, їх уже не розглядають як безструктурні дифузні об'єкти.

Д.Фрідман, Г.Кендал\* та Р.Тейлор довели реальність існування кварків! Полювання за кварками завершилося у 1970-х роках, а за Нобелівською премією аж 1990 року.

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

\* Генрі Кендал помер 1999 року.





# ЯК СТАТИ ФІЗИКОМ МАЙБУТНЬОГО?

**Ф**ізичний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка має давні славні традиції. Варто сказати, що викладання фізики в університеті ведеться вже понад 225 років, а кафедрам теоретичної та експериментальної фізики – понад 125 літ!



*Декан фізичного факультету ЛНУ  
ім. Івана Франка професор Й. Стахіра*

Тут працювали такі відомі фізики із світовими іменами, як М.Смолуховський, В.Міліянчук, С.Лорія, А.Лубченко, Я.Дутчак. Випускниками фізичного факультету були директор інституту фізики НАН України академік М.Бродин, директор інституту фізики конденсованих систем НАН України І.Юхновський, член-кореспондент НАН України І.Стасюк та інші\*.

Сучасна епоха – це ера передових технологій інформаційної цивілізації, і тому становлення України як розвиненої держави обов'язково буде пов'язане з розвитком прикладної та теоретичної фізики та потребою спеціалістів у цих галузях.

Фізика, радіофізика й електроніка, прикладна, теоретична фізика – престижні спеціальності XXI століття. Це сучасна мікроелектроніка, комп'ютер в усіх галузях, радіо, телебачення, лазер, оптичний та супутниковий зв'язок, методи обробки та запису інформації, нові методи медичної діагностики. Отримати ці спеціальності можна на фізичному факультеті Львівського національного університету імені Івана Франка.

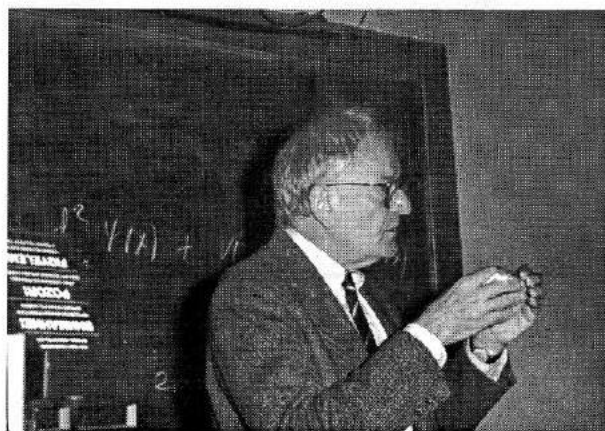
Навчання на факультеті здійснюють 9 кафедр: теоретичної фізики; фізики напівпровідників та діелектриків; радіоелектронного матеріалознавства; фізики металів; загальної фізики; експериментальної фізики; нелінійної оптики; астрофізики; радіофізики, на яких Ви отримаєте високу фахову підготовку і яка забезпечить Вам перспективне майбутнє.

\* Детальніше про історію фізичного факультету читайте в журналі „Світ фізики”. 1998. № 2(4); 1999. № 2(6).



*У лабораторії кафедри нелінійної оптики.  
Дослідження проводить доцент  
Л. Луців-Шумський*

На фізичному факультеті є криогенна лабораторія, де проводяться фізичні дослідження при дуже низьких температурах; технологічні лабораторії, де вирощують кристали і здійснюють напilenня тонких плівок. Є навіть астрономічна обсерваторія, обладнана сучасними лазерними приладами, телескопами. Тут проводяться постійні спостереження за штучними супутниками Землі та Сонцем.



*Професор теоретичної фізики  
Массачусетського інституту технології  
(США) Р. Ячків читає лекцію  
на фізичному факультеті*

На кожній кафедрі діють науково-дослідні та навчальні лабораторії, де поруч з ученими працюють також студенти. Причому студенти залучаються до цих досліджень вже на третьому курсі, після вивчення загальних дисциплін. Їхнє наукове зростання відбувається під керівництвом досвідчених викладачів і висококваліфікованих науковців. Навчають їх 20 докторів та професорів, 50 кандидатів наук, доцентів. Деканом фізичного факультету сьогодні є доктор фізико-математичних наук, професор Йосип Михайлович Стахіра.

Тому й не дивно, що багато обдарованої молоді добивається значних успіхів, отримуючи результати, які представляються на численних наукових конференціях, як в Україні так і за її межами. Варто зауважити що студенти фізичного факультету публікують свої перші наукові праці у всеукраїнському науково-популярному журналі „Світ фізики” та наукових – „Журнал фізичних досліджень” і „Віснику Львівського університету. Серія фізична.”

З ініціативи студентів ось уже декілька років поспіль, щорічно, на базі фізичного факультету проводиться Всеукраїнська студентська наукова конференція з фізики. Студенти факультету мають змогу виступити з науковими доповідями, поспілкуватись зі студентами інших вищих навчальних закладів України. Переможці щорічної студентської олімпіади у Львові беруть участь у фінальних змаганнях, які проводяться в різних містах України. Кращі наукові доповіді згодом оформляють у наукові статті, які публікують у відомих журналах. Керівництво факультету підтримує ініціативу студентства, сприяє проведенню таких заходів.

Фізичний факультет підтримує наукові зв'язки з багатьма університетами та науковими установами світу, проводить спільні дослідження, до яких залучаються і студенти. Щорічно кращі студенти скеровуються на стажування за кордон. Студенти-фізики спілкуються з відомими ученими світу, які відвідують фізичний факультет, та читають для них лекції. Майже з кожної лабораторії студенти мають змогу користуватись глобальною мережею INTERNET. Вони разом з викладачами створили WEB-сторінки факультету та кожної кафедри. Через ці сторінки можна отримати інформацію у будь-якому місці земної кулі.



*Науковий семінар фізичного факультету*

Сьогодні фізичний факультет є одним з найбільших в університеті. Територіально він розташований у декількох корпусах центральної частини Львова. Зокрема головний корпус факультету знаходиться на вул. Драгоманова, 50.

Аудиторії та наукові лабораторії розташовані у корпусах на вулицях Драгоманова, 19, Кирила і Мефодія, 8, Драгоманова, 12, Саксаганського, 1, Тарнавського, 108. Усі вони знаходяться близько-одна від одної, що створює зручність для студентів. Поряд, на вул. Драгоманова, є чудові корпуси наукової бібліотеки Львівського національного університету імені Івана Франка із зручними читальними залами. Фізичний факультет, крім того, має свою бібліотеку, де знаходиться фахова наукова та навчальна література.

Заняття фізичною культурою та спортом студенти факультету проводять на стадіоні та в університетському палаці спорту. Працюють секції футболу, баскетболу, волейболу, плавання, шахів\*\*, бадмінтону та лижних видів спорту. Студенти факультету часто їздять у Карпати, оскільки Львів знаходиться зовсім недалеко: взимку – кататися на лижах, влітку – у туристичні мандрівки.

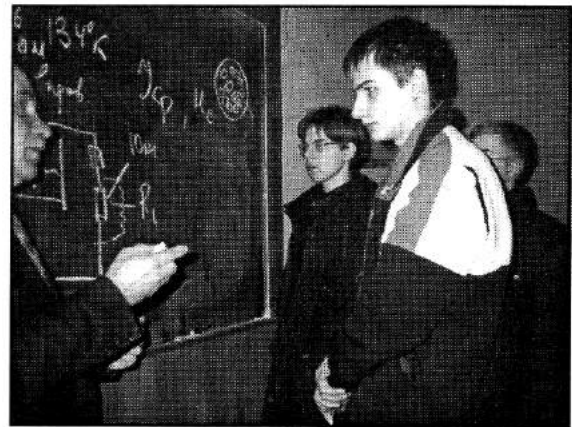
У мальовничому куточку Львова є ціле містечко, де розташовані студентські гуртожитки.

Давно вже застарілою є полеміка про фізиків і ліриків. Студенти-фізики вже багатьох поколінь довели, що вони вміють і веселитись не гірше, а ніж розв'язувати складні фізичні завдання. Отож, не дивно, що яскравими подіями в житті факуль-

тету є День фізика та День університету. У програмі свят – диспути з викладачами та керівництвом університету, концертна програма та дискотека, конкурси та забави з традиційно дотепними і влучними жартами.

Кращі з випускників мають змогу продовжувати навчання в аспірантурі, де проводять наукові дослідження та здобувають учені ступені. Щорічно це – 15-20 осіб. На факультеті працює спеціалізована Рада із захисту кандидатських і докторських дисертацій.

Колектив фізичного факультету під керівництвом декана, професора Йосипа Михайловича Стахіри постійно удосконалює навчальні програми, враховуючи потреби України у фахівцях з окремих спеціальностей. Нещодавно запроваджено спеціалізації: астрофізика, фізика медико-біологічних систем, науково-технічний менеджмент і маркетинг, радіаційна фізика й екологія, оптоелектронна інформатика, лазери і лазерна техніка, комп'ютерні технології у фізиці, фізико-інформаційні методи дослідження медико-біологічних систем, науково-технічна експертиза, комп'ютерні методи в електроніці, опто-фізичні методи в біології і медицині. Студенти охоче освоюють ці спеціальності, які є запорукою їхнього майбутнього.



*Під час дискусії студентів з професором Р. Луцівом*

Випускникам фізичного факультету сьогодні не важко працевлаштуватись у різних галузях за набутим фахом: учителями, інженерами, науковими співробітниками, менеджерами тощо. Серед

\*\* До речі, міжнародний гротмайстер з шахів Адріан Михальчишин є також випускником фізичного факультету





*Посвята першокурсників у студенти (1 вересня 1999 р.)*

вихованців фізичного факультету є власники приватних фірм, митниць, депутати українського парламенту та місцевих органів влади, ректори вищих навчальних закладів та директори шкіл. Жоден з випускників останніх років не залишився без гідного працевлаштування.

Долучитися до лав студентства фізичного факультету можна:

- через вступні іспити, якими є фізика (тести) та українська мова і література (тести).
- через участь в Олімпіаді фізичного факультету – заочного і очного туру.

***Шановні Випускники!***

***Фізичний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка чекає на Вас!***

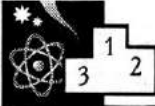
*Творчий колектив редакції журналу „Світ фізики” вітає із*

***30-річчям художника журналу Володимира Гавла.***

*Зичимо Вам, Володимире, здоров'я, щастя, творчого натхнення.*

*Нехай Світ фізики відкриє Вам багатий, широкий і ясний Світ,  
де панує любов, злагода, взаємоповага і високе розуміння Мистецтва.*

*З роси і води Вам*



## Теоретичні завдання III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2000 р.

### 8-й клас

#### Задача 1.

Щоб підтримувати в кімнаті температуру  $20^{\circ}\text{C}$  при температурі на вулиці мінус  $10^{\circ}\text{C}$ , доводиться щодня спалювати  $0,1\text{ м}^3$  сухих дров. Скільки дров доведеться спалювати щодня, щоб підтримувати в кімнаті ту саму температуру, якщо температура на вулиці знизиться до мінус  $20^{\circ}\text{C}$ ?

#### Задача 2.

Мачуха змішала в одному мішку кукурудзу та овес. Допоможіть Попелюшці визначити фізичними методами процентний вміст (за об'ємом) кукурудзи та вівса в мішку. Які дані для цього Вам потрібні?

#### Задача 3.

Теплохід рухався по Дніпру з пункту А до пункту В, і потім з пункту В повернувся до пункту А. На його шляху було водосховище. Швидкість течії Дніпра  $V_0$ , швидкість течії у водосховищі мізерно мала, швидкість теплохода у стоячій воді  $V_1$ . Більше чи менше часу затратив би на ту саму дорогу теплохід, коли б водосховища не було, і річка скрізь текла б зі швидкістю  $V_0$ ?

#### Задача 4.

Батискаф масою  $m = 2000\text{ кг}$ , об'ємом  $V = 1\text{ м}^3$  занурився в море на глибину  $h_0 = 10\text{ м}$ . Яку роботу потрібно виконати, щоб підняти батискаф на висоту  $H = 5\text{ м}$  над поверхнею води? Чи дорівнює виконана при цьому робота зміні потенціальної енергії батискафа? Густина води  $1000\text{ кг/м}^3$ .

#### Задача 5.

Як можна надати  $n$  пустотілим несучільним тілам, які мають різну форму, однакового заряду?

### 9-й клас

#### Задача 1.

Пасажира стояв біля початку вагона з порядковим номером  $k = 5$ . Коли поїзд зрушив з місця, з'ясувалося, що вагон з номером  $m = 20$  рухався повз пасажира протягом  $t = 10\text{ с}$ . Скільки часу рухатиметься повз пасажира вагон з номером  $n = 29$ ? Рух поїзда вважати рівноприскореним, довжину вагонів однаковою, пасажира нерухомим відносно платформи.

#### Задача 2.

По коловій орбіті навколо Землі поблизу її поверхні рухається космічна станція. Із станції у відкритий космос вийшов космонавт, прив'язаний до станції шнуром завдовжки  $L = 63\text{ м}$ . При якому розміщенні космонавта, станції і Землі натяг шнура буде найбільшим? Визначити найбільшу силу натягу шнура. Маса космонавта  $m = 70\text{ кг}$ , у багато разів менша за масу станції  $M$ . Вважати, що радіус Землі дорівнює  $6400\text{ км}$ .

#### Задача 3.

У скільки разів треба підвищити напругу джерела струму, щоб втрати потужності у лінії електропередачі зменшилися у 100 разів, а потужність, яка передається по лінії, не змінилася? Втрати напруги в лінії спочатку дорівнювали  $U_b = kU$ , де  $U$  - напруга на навантаженні.

#### Задача 4.

Два плоскі дзеркала розміщені під кутом  $45^{\circ}$  одне до одного. Людина знаходиться між дзеркалами на однаковій відстані від кожного з них. Скільки своїх зображень побачить людина?

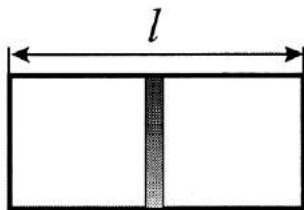
#### Задача 5.

Дано амперметр (який має опір), вольтметр, джерело струму, резистор з невідомим опором і з'єднувальні провідники (опором провідників можна знехтувати). Як виміряти опір резистора з найбільшою точністю?

## 10-й клас

## Задача 1.

Циліндр (див. рис.) довжиною  $l$  перегороджений посередині тонким поршнем, маса якого  $m$ . У кожному відділенні міститься по одному молю ідеального газу при температурі  $T$ . Поршень трохи змістився від середини циліндра.



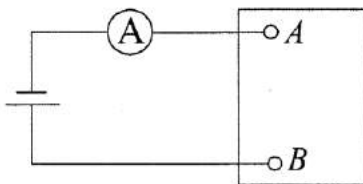
Визначити період малих коливань поршня, вважаючи, що вони пов'язані з ізотермічними процесами в газі.

## Задача 2.

Відомо, що мінімальна напруженість однорідного електричного поля, яке розриває на дві частини провідну незаряджену тонкостінну сферу, дорівнює  $E_0$ . Визначити мінімальну напруженість  $E_1$  поля, яке розірве сферу удвічі більшого радіуса, якщо товщина її стінок залишається незмінною.

## Задача 3.

При підключенні гальванічного елемента з напругою  $U_1 = 1,5$  В до клем А і В „чорного ящика” (див. рис.) амперметр показав силу струму  $I_1 = 1$  А. Коли полярність елемента змінили на протилежну, сила струму зменшилась удвічі.



Розгляньте можливі випадки, що може знаходитись всередині ящика, та наведіть схеми з'єднання елементів.

## Задача 4.

Хлопець стріляє з рогатки вертикально вгору, влучає каменем у карниз будинку, який знаходиться на висоті  $h = 20$  м, після чого камінь падає на зем-

лю. Вважаючи удар абсолютно непружним (камінь після удару повністю втрачає швидкість), визначити силу удару, якщо відомо, що початкова швидкість каменя  $V_0 = 25$  м/с, його маса  $m = 0,01$  кг і камінь падає на землю через  $t_0 = 3,01$  с. Прискорення  $g$  вважати таким, що дорівнює  $10$  м/с<sup>2</sup>.

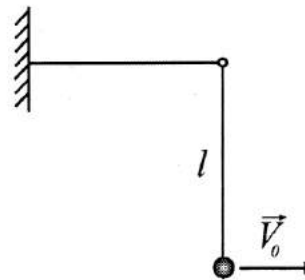
## Задача 5.

Чому тріщини у трубах, що руйнуються взимку при замерзанні у них води, завжди йдуть уздовж, а не впоперек труби?

## 11-й клас

## Задача 1.

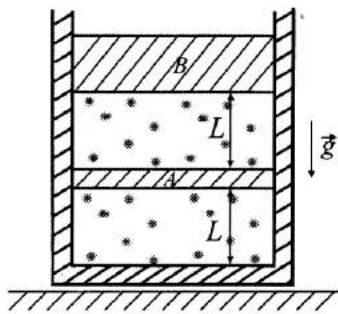
Маленька кулька підвішена до кронштейна на тонкій невагомій нитці, довжина якої  $l = 10$  см (див. рис.). Якою має бути найменша швидкість  $v_0$  кульки у горизонтальному напрямку, щоб вона вдарилася об кронштейн у точці підвісу?



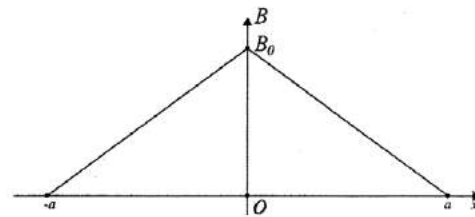
## Задача 2.

У теплоізолюваній циліндричній посудині легкий теплопровідний поршень А і важкий теплоізолюючий поршень В утворюють два об'єми (див. рис.). Довжина кожного об'єму  $L = 40$  см і в кожному з них міститься 1 моль одноатомного ідеального газу. Вся система знаходиться в тепловій рівновазі. Згодом газ повільно нагрівають, передаючи йому теплоту у кількості  $Q = 200$  Дж. Знайти найменшу силу тертя між поршнем А і стінками посудини, при якій поршень А ще буде нерухомим. Вважати, що поршень В рухається без тертя.





Ом·мм і густина матеріалу  $\rho_m = 9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Залежність величини індукції магнетного поля від координати  $x$  уздовж траєкторії руху кільця зображено на рисунку, причому  $a = 10 \text{ см}$ ,  $B_0 = 1 \text{ Тл}$ . Можна вважати, що  $a \gg D$  і шукана зміна швидкості  $\Delta v \ll v_0$ .



### Задача 3.

У сферичному глобусі, діаметр якого 1 м, паралелі і меридіани виготовлені з дроту. Меридіани йдуть через кожні  $10^\circ$ , а паралелі – через кожні  $5^\circ$ . Паралелі та меридіани з'єднані у місцях їх перетину. Знайти опір між полюсами такого глобуса, якщо опір одиниці довжини дроту  $\rho = 7,2 \text{ Ом/м}$ .

### Задача 4.

Дротяне кільце пролітає між полюсами магнета, не встигаючи повернутись. Магнетне поле напрямлене перпендикулярно до площини кільця і напрямку його руху. Оцінити зміну швидкості кільця за час його прольоту через магнетне поле, якщо швидкість кільця при вльоті в поле дорівнює  $v_0 = 20 \text{ м/с}$ , діаметр кільця  $D = 6 \text{ мм}$ , діаметр дроту  $d \ll D$ , його питомий опір  $\rho_0 = 2 \cdot 10^{-8}$

### Задача 5.

За допомогою фотоапарата на фотопластинці отримали чітке зображення предмета, який розташований на відстані 4 м перед об'єктивом і має розмір 2 см. На який відстані від об'єктива розміщено той самий предмет, якщо його зображення на тій самій пластинці (відстань від об'єктива до пластинки залишається незмінною) отримали з розмитістю 1 мм. Діаметр об'єктива 2 см, а його фокусна відстань 20 см. Якою буде відповідь задачі, якщо фокусна відстань об'єктива становитиме 30 см?

## Всеукраїнська студентська наукова конференція з фізики

Всеукраїнська студентська наукова конференція з фізики відбудеться 15-17 травня 2000 року в м. Львові (фізичний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка).

**Напрями роботи:** теоретична фізика, астрофізика, експериментальна фізика, оптика, фізика напівпровідників, фізика твердого тіла, радіоелектронне матеріалознавство, радіофізика.

**Організатори:** Львівський національний університет імені Івана Франка, фізичний факультет ЛНУ ім. Івана Франка, студентське товариство ЛНУ ім. Івана Франка, студентське братство державного університету „Львівська політехніка”.

Учасники конференції забезпечуються гуртожитком, харчуванням та екскурсійним обслуговуванням. Кваліфікована комісія, в якій працюватимуть провідні учені наукових установ Львова, визначить найкращі роботи, автори яких будуть нагороджені дипломами та подарунками. До початку конференції будуть видані тези.

### ОРГКОМІТЕТ:

Студентське товариство

Студентське братство

вул. Глибока 12, м. Львів

тел.: 0322 34 00 01

ел. пошта: stldu@stud.franko.lviv.ua

Фізичний факультет

ЛНУ ім. Івана Франка

вул. Драгоманова 50, м. Львів

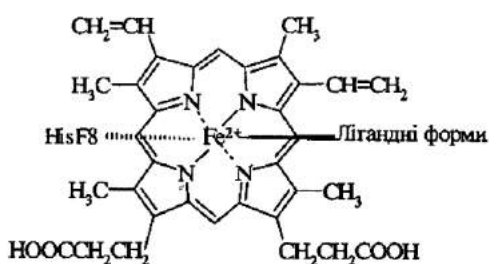
тел.: 0322 72 93 45



## Спектри поглинання лігандних форм гемоглобіну

Гемоглобін – це складний білок, побудований з білкової частини – глобіну, та небілкової – гему, що містить залізо. Важлива роль, яку відіграє гемоглобін у процесах кровотворення і перенесення кисню в організмі, пояснює той інтерес, який викликає дослідження його молекули. Дослідження будови і властивостей гемоглобіну (Hb) дає відповіді на запитання про механізм дії ферментів в організмі, розвиває уявлення фундаментальної теорії ферментативного каталізу. Тривимірну будову молекули гемоглобіну встановив Макс Перутц 1960 року на основі даних рентгеноструктурного аналізу високої розподільної здатності. Молекула гемоглобіну має сферичну форму, діаметр її 5.5 нм. Гемоглобін є тетрамером, який складається з чотирьох субодиниць, упакованих у вигляді тетраедра. Ці субодиниці – це дві  $\alpha$ - і дві  $\beta$ -субодиниці, які містять відповідно по 141 і 146 амінокислотних фрагментів. Поліпептидні ланцюги (білкові залишки) специфічно вкладені навколо плоского залізовмісного кільця гема і утворюють субодиницю.

Гем – це ферропротопорфірин, комплексна сполука протопорфірину з залізом. Гемова частина молекули має вигляд:



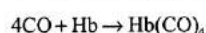
Протопорфірин (IX) складається із 4-х пірольних кілець, сполучених між собою СН-мостиками з 1, 3, 5, 8-метильними, 2, 4-вінільними групами, 6, 7-положення займають залишки пропіонової кислоти. У центрі гема знаходиться йон заліза (II), який утворює чотири зв'язки з атомами азоту пірольних кілець: два ковалентних і два донорно-акцепторних. Оскільки координаційне число  $Fe^{2+}$  є шість, то два інші зв'язки розташовані перпендикулярно до площини кільця протопорфірину – один з них утворює зв'язок з білковою частиною

молекули – глобіном через атом азоту гістидину, так званим проксимальним гістидином – HisF8. Гістидин, як сильний донор електронів, фіксує гем у глобіні, збільшує основність  $Fe^{2+}$ , сприяє утворенню координаційного зв'язку  $Fe^{2+}$  з молекулою ліганду. З протилежного боку від атома заліза на значно більшій відстані знаходиться інша частина білкової молекули – дистальний гістидин His E7. Область між дистальним гістидином та атомом заліза є вільною і може бути зайнята молекулою ліганду, що займає шосте координаційне положення. Лігандами можуть бути такі сполуки, як кисень  $O_2$ , оксид карбону (II)  $CO$ , оксид нітрогену (II)  $NO$ , сульфід водню  $H_2S$ . При цьому відповідно утворюються окси-, карбокси-, карб-, нітросо- та сульфгемоглобіни. Численні дослідження показують, що зміна ліганду в молекулі гемоглобіну приводить до зміни фізичних властивостей молекули гемоглобіну. Ці зміни відображаються на спектрофотометричних характеристиках різних лігандних форм гемоглобіну, зокрема на зміні смуг поглинання, характерних для кожної лігандної форми гемоглобіну. Досліджувались спектрофотометричні характеристики різних лігандних форм гемоглобіну. Спектри знімалися на спектрофотометрі Specord M-40.

Слід зазначити, що для усіх сполук гемоглобіну характерною є смуга поглинання  $Soret$ , яка зумовлена порфіриновим кільцем білкової молекули. Вона не змінюється при зміні ліганду і є характерною спектрофотометричною ознакою молекули гемоглобіну, проте її максимум поглинання дещо коливається залежно від виду ліганду – від 410 до 420 нм. А от максимуми поглинання в області 450-800 нм є специфічною характеристикою кожної лігандної форми гемоглобіну. В молекулі дезоксигемоглобіну атом феруму в порфіриновому кільці розташований над площиною порфіринового кільця і утворює з його площиною піраміду. Це пов'язано з тим, що координаційний зв'язок з гістидином F8 не зрівноважений взаємодією з лігандом. Це, зокрема, веде до зміни конформації молекули. Особливо помітним є зближення  $\alpha$  та  $\beta$  поліпептидних ланцюгів у місцях їх контактів. Такий стан молекули характеризується однією специфічною смугою з максимумом поглинання при 558 нм. (рис.1, а).



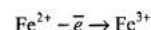
Унікальною властивістю гемоглобіну є його здатність зворотньо зв'язувати кисень без окиснення центрального іону  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ . Це пояснюється тим, що в дезоксигемоглобіні йон  $\text{Fe}^{2+}$  знаходиться у високоспіновому стані і його радіус є занадто великим, щоб поміститися у площині порфіринового кільця гему. При зв'язуванні кисню йон  $\text{Fe}^{2+}$  переходить у низькоспіновий стан, його радіус зменшується,  $\text{Fe}^{2+}$  переміщується на 0.06 нм і виявляється в площині порфіринового кільця. Рентгеноструктурними дослідженнями встановлено, що окиснення гемоглобіну веде до створення компактнішої структури, атоми заліза чотирьох субодиниць зближуються, а самі одиниці розвертаються одна щодо одної на  $10-15^\circ$ . Зв'язки  $\text{His F8}$  і  $\text{O}_2$  компенсуються, атом заліза входить в центр порфіринового кільця. Цей стан молекули зумовлює появу в області 450-800 нм в електронних спектрах поглинання двох максимумів поглинання при 577 і 542 нм – так званих  $\alpha$ - і  $\beta$ -смуг (рис. 1, б). Утворення карбоксигемоглобіну відбувається за рівнянням:



Карбоксигемоглобін – стійка сполука, не здатна до переносу кисню. Зважаючи на те, що спорідненість  $\text{CO}$  і гемоглобіну вища, ніж спорідненість гемоглобіну і  $\text{O}_2$ , вже при незначній концентрації  $\text{CO}$  в повітрі відбувається взаємодія  $\text{CO}$  з гемоглобіном, зв'язування останнього. Це веде до кисневого голодання (гіпоксії) тканин і органів внаслідок недостатнього надходження до них кисню. У молекулі карбоксигемоглобіну атом заліза пе-

ребує в низькоспіновому стані. А в довгохвильовій області електронних спектрів поглинання спостерігаються дві смуги поглинання –  $\alpha$ - і  $\beta$ -смуги з максимумами поглинання 569 нм (для  $\alpha$ -) і 539 нм (для  $\beta$ -смуги) (рис. 1, в).

Метгемоглобін (або феррі-гемоглобін) утворюється при окисненні  $\text{Fe}^{2+}$  у молекулі гемоглобіну до  $\text{Fe}^{3+}$  сильними окисниками, в тому числі і в процесі зворотної окисгенації:



Метгемоглобін також не здатний до транспорту кисню. Атом заліза в молекулі метгемоглобіну знаходиться у високоспіновому стані. Характерним для цієї форми гемоглобіну є її спектр, який складається з низки поступово спадаючих невеликих хвиль з нечітко вираженими максимумами при 500 і 630 нм. (рис. 1, г).

Сульфгемоглобін накопичується в крові при взаємодії гемоглобіну з сірководнем  $\text{H}_2\text{S}$ , а також при значному вживанні деяких сульфамідних препаратів. Присутність сульфгемоглобіну в крові детермінує характер кінетики зв'язування кисню гемоглобіном і його транспорт до клітин. Для цієї лігандної форми гемоглобіну характерні хвилясті смуги поглинання в області 420-800 нм, з невеликою характерною смугою, максимум поглинання якої становить 620 нм. (рис. 1, д).

Одержані результати дають змогу зробити такі висновки: по-перше, спектрофотометричні характеристики гемоглобіну значною мірою залежать від його лігандного оточення, а отже, різні лігандні форми гемоглобіну можна розрізнити за їх електронними спектрами. По-друге, зважаючи на те, що кожна з лігандних форм гемоглобіну має свій характеристичний максимум поглинання в електронних спектрах, за допомогою спектрофотометричних досліджень можна проводити точні кількісні дослідження вмісту окси-, дезокси-, карбокси-, метта сульфгемоглобінів у різних гемовмісних сумішах, зокрема в крові.

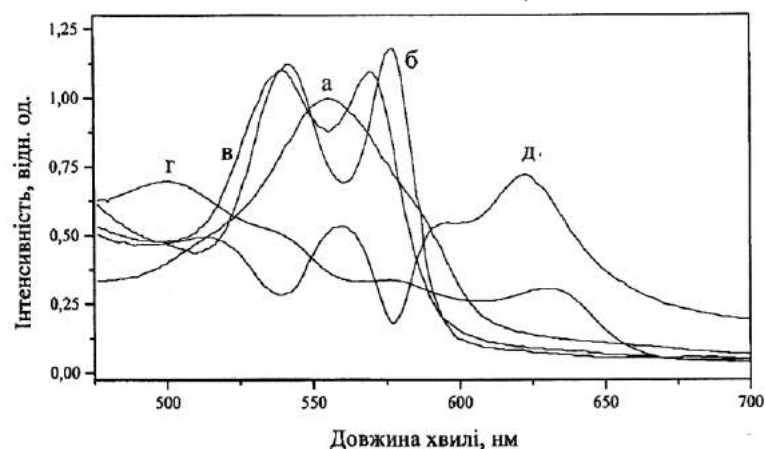


Рис. 1. Спектри поглинання лігандних форм гемоглобіну: а - дезоксигемоглобін; б - оксигемоглобін; в - карбоксигемоглобін; г - метгемоглобін; д - сульфгемоглобін

Ростислав Білий,  
учень 11 класу  
СШ № 4 м. Львова



## Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2000 р.

### 8-й клас

#### Задача 1.

Між вулицею і кімнатою відбувається теплообмін. Кількість теплоти, що втрачає кімната за добу

$$Q_1 = \alpha(T_0 - T_1) . \quad (1)$$

Це закон теплообміну Ньютона ( $T_0$  - температура в кімнаті,  $T_1$  - температура на вулиці,  $\alpha$  - коефіцієнт теплообміну). При спалюванні дров виділяється теплота

$$Q_1 = \eta m_1 q , \quad (2)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії печі,  $m_1$  - маса дров,  $q$  - питома теплота згоряння дров. Якщо температура в кімнаті стала

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 \Rightarrow \\ \alpha(T_0 - T_1) &= \eta m_1 q , \end{aligned} \quad (3)$$

у другому випадку:

$$\alpha(T_0 - T_2) = \eta m_2 q . \quad (4)$$

Розв'язавши систему рівнянь (3) і (4), отримаємо:

$$m_2 = \frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_1} \cdot m_1 ,$$

або

$$V_2 = \frac{T_0 - T_2}{T_0 - T_1} \cdot V_1 = 0,13 \text{ м}^3 .$$

#### Задача 2.

Для визначення процентного вмісту Попелюшці необхідно виміряти:

1.  $m$  (масу) і  $V$  (об'єм) суміші.

2.  $\rho_1$  і  $\rho_2$  - відповідно густина кукурудзи і вівса. (Для визначення  $\rho_1$  і  $\rho_2$  потрібно відібрати невелику кількість чистої кукурудзи і вівса й визначити  $\rho_1 = m_{10}/V_{10}$ ;  $\rho_2 = m_{20}/V_{20}$ ). Об'єм суміші у мішку дорівнює сумі об'ємів кукурудзи -  $V_1$  і вівса -  $V_2$

$$V = V_1 + V_2 . \quad (1)$$

Маса суміші

$$m = m_1 + m_2 = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 . \quad (2)$$

Розв'язавши систему рівнянь (1) і (2), отримаємо:

$$V_1 = \frac{m - \rho_2 V}{\rho_1 - \rho_2} ; \quad V_2 = \frac{m - \rho_1 V}{\rho_2 - \rho_1} \Rightarrow$$

$$\alpha_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{m - \rho_2 V}{\rho_1 - \rho_2} ; \quad \alpha_2 = \frac{V_2}{V} = \frac{m - \rho_1 V}{\rho_2 - \rho_1} .$$

Якщо  $V \neq V_1 + V_2$ , Попелюшці потрібно розділити всю суміш.

#### Задача 3.

Розглянемо ділянку водосховища. Загальний час руху по водосховищу (в обидва боки)  $t_1 = 2l/v_1$ . Якщо у водосховищі вода буде рухатись зі швидкістю  $v_0$ , тоді загальний час руху

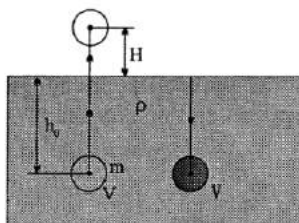
$$t_2 = \frac{l}{v_1 + v_0} + \frac{l}{v_1 - v_0} = \frac{l \cdot 2v_1}{v_1^2 - v_0^2} .$$

Знайдемо

$$t_2 - t_1 = 2l \left( \frac{v_1}{v_1^2 - v_0^2} - \frac{1}{v_1} \right) = \frac{2l \cdot v_0^2}{v_1(v_1^2 - v_0^2)} > 0 .$$

Зрозуміло, що  $v_1 > v_0$ ,  $t_2 > t_1$  - це означає, що при відсутності водосховища, час на дорогу більший.

#### Задача 4.

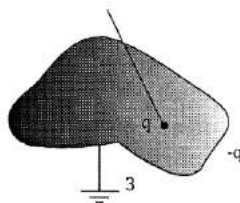


Робота над системою батискаф - вода дорівнює зміні потенціальної енергії системи. Батискаф піднімаючись, збільшує свою потенціальну енергію на  $mg(h_0 + H)$ . Вода, опускаючись з поверні, зменшує свою потенціальну енергію на  $\rho V g h_0$ .

$$A = mg(h_0 + H) - \rho V g h_0 = 196 \text{ кДж} .$$

**Задача 5.**

Надати однаковий заряд можна тільки порожнистим провідним тілам. Усі провідні тіла треба поставити на ізолюючі підставки і з'єднати їх провідниками з Землею (заземлити). Взяти невелике заряджене тіло і внести його всередину заземленого провідника, і в цей момент роз'єднати за-



землення. На провіднику внаслідок явища електростатичної індукції наведеться з Землі заряд, що дорівнює нашому, але протилежний йому за знаком. Потім ці дії повторити з іншими тілами.

**9-й клас**
**Задача 1.**

Введімо нову нумерацію вагонів. Позначимо вагон, біля якого стояв спостерігач, коли поїзд рушив з місця номером 1 (один), тоді вагон номер  $m = 20$  (стара назва) матиме номер  $m' = 16$ , а вагон  $n = 29$  – номер  $n' = 25$ . Далі працюємо в нових позначках. Час, за який пройде повз спостерігача  $m' = 16$  вагонів визначається так:

$$m' \cdot l = \frac{at_{m'}^2}{2} \Rightarrow t_{m'} = \sqrt{\frac{2m'l}{a}}$$

$l$  - довжина вагона.  $m' - 1 = 15$  вагонів пройде за час

$$t_{m'-1} = \sqrt{\frac{2(m'-1)l}{a}}$$

Тоді вагон  $m'$  пройде за час

$$\Delta t_{m'} = t_{m'} - t_{m'-1} = \sqrt{\frac{2l}{a}} (\sqrt{m'} - \sqrt{m'-1}). \quad (1)$$

Аналогічно для вагона  $n' = 25$

$$\Delta t_{n'} = t_{n'} - t_{n'-1} = \sqrt{\frac{2l}{a}} (\sqrt{n'} - \sqrt{n'-1}). \quad (2)$$

З (1) і (2) отримаємо

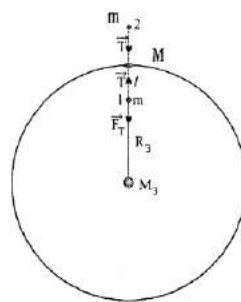
$$\Delta t_{n'} = \Delta t_{m'} \frac{\sqrt{n'} - \sqrt{n'-1}}{\sqrt{m'} - \sqrt{m'-1}} \approx 8c.$$

У старих позначеннях формула має вигляд:

$$\Delta t_n = t \frac{\sqrt{n-k+1} - \sqrt{n-k}}{\sqrt{m-k+1} - \sqrt{m-k}}$$

**Задача 2.**

Якщо космонавт і станція рухаються по одній і тій самій орбіті, то сила натягу шнура  $T = 0$ . Зрозуміло, що сила  $T$  буде максимальною, коли космонавт, станція і центр Землі лежать на одній прямій. Якщо станція має постійну орбіту, людина може мати два положення: 1 – ближче до Землі і



2 – далі, ніж станція від Землі. Сила натягу шнура буде більшою у випадку 1, тому що зміна сили тяжіння, яка діє на людину у цьому випадку більша. (Для наближених розрахунків результат однаковий. Переконайтеся у цьому самостійно.)

Враховуючи, що маса станції  $M \gg m$ , будемо вважати, що кутова швидкість станції з людиною на шнурі і без неї однакові. Тоді для руху по колу станції запишемо другий закон Ньютона:

$$M \frac{v^2}{R_3 + l} = M \omega^2 (R_3 + l) = \gamma \frac{M M_3}{(R_3 + l)^2} \Rightarrow \Rightarrow \omega^2 = \gamma \frac{M_3}{(R_3 + l)^3} = \gamma \frac{M_3}{R_3^2} \frac{R_3^2}{(R_3 + l)^3} = \frac{g R_3^2}{(R_3 + l)^3},$$

другий закон Ньютона для руху людини

$$m \omega^2 R_3 = mg - T \Rightarrow T = m(g - \omega^2 R_3) = = mg \left( 1 - \frac{R_3^3}{(R_3 + l)^3} \right) \approx \frac{3mgl}{R_3}$$

При перетвореннях враховано, що  $R_3 \gg l$ .

$$T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}.$$

**Задача 3.**

Втрати в лінії визначаються  $P_n = I^2 R_n$  ( $R_n$  - опір лінії електропередачі). Щоб зменшити втрати в лінії у 100 разів, треба зменшити силу струму у 10 разів. Спочатку було:

$$U_{\text{джер1}} = U_n + U_n = kU + U = (k+1)U.$$

$U_{\text{джер2}}, U_n, U_n$  - напруги відповідно на джерелі, лінії і навантаженні.

Після зменшення струму у 10 разів:

$$U_{\text{джер2}} = U_n/10 + 10U_n = (k/10 + 10)U$$

(Напруга на навантаженні має зрости у 10 разів, щоб потужність навантаження не змінилась).

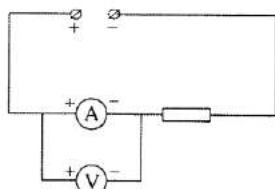
$$U_{\text{джер2}}/U_{\text{джер1}} = (k/10 + 10)/(k+1).$$

При  $k < 10$  напругу джерела треба збільшити.

**Задача 4.**

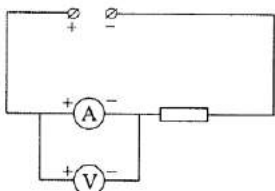
Людина бачить  $N = 360/\alpha - 1 = 360/45 - 1 = 7$  зображень. (Розв'язок дивись „Світ фізики”. 1999. № 4. С. 44).

**Задача 5.**



Склавши перше коло, визначимо опір амперметра:

$$R_A = U_1 / I_1.$$

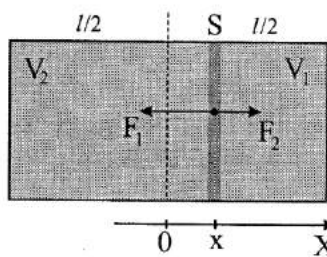


Склавши друге коло, визначимо опір резистора:

$$U_2 = I_2 R_A + I_2 R_x \Rightarrow R_x = \frac{U_2 - I_2 R_A}{I_2} = \frac{U_2}{I_2} - R_A = \frac{U_2}{I_2} - \frac{U_1}{I_1}$$

**10-й клас**

**Задача 1.**



мо закон Бойля-Маріотта:

$$PV = P_1 V_1 = P_1 (V - Sx) \Rightarrow P_1 = \frac{PV}{V - Sx},$$

$$PV = P_2 V_2 = P_2 (V + Sx) \Rightarrow P_2 = \frac{PV}{V + Sx}$$

Для поршня запишемо другий закон Ньютона у проекції на вісь OX:

$$ma = F_2 - F_1 = P_2 S - P_1 S = S \left( \frac{PV}{V + Sx} - \frac{PV}{V - Sx} \right) \Rightarrow$$

У початковому стані для газу запишемо рівняння стану:

$$PV = \nu RT = RT.$$

При відхиленні поршня для кожного об'єму газу запишемо

$$a = \frac{PV S \cdot 2Sx}{m(V^2 - (Sx)^2)} \approx -\frac{2RTS^2}{mV^2} x \Rightarrow x'' = -\frac{8RT}{ml^2} x$$

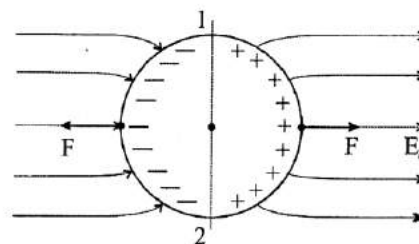
Ми отримали рівняння, що описує гармонічні коливання з частотою

$$\omega = \sqrt{\frac{8RT}{ml^2}}$$

Період коливань поршня

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{ml^2}{8RT}} = \pi \sqrt{\frac{ml^2}{2RT}}$$

**Задача 2.**



Поверхнева густина індукованих зарядів прямопропорційна величині зовнішнього поля

$$\sigma_q \sim E_0. \quad (1)$$

Сили, що розривають сферу пропорційні індукваному зарядові і напруженості зовнішнього поля

$$F \sim \sigma_q \cdot S_{нов} \cdot E_0, \quad (2)$$

де  $S_{нов} = 4\pi R_0^2$  – площа поверхні сфери.

Враховуючи (1) і (2) для сили можна записати

$$F = \alpha R_0^2 E_0^2.$$

Нехай розрив сфери настає по перерізу 1-2. При розриві механічна напруга в перерізі 1-2 досягає межі міцності

$$\sigma_m = \frac{F}{S_{пер}} = \frac{\alpha R_0^2 E_0^2}{2\pi R_0 d}, \quad (3)$$

де  $S_{пер} = 2\pi R_0 d$  – площа перерізу сфери в перерізі 1-2. У другому випадку, якщо настає розрив, механічна напруга теж досягає межі міцності:

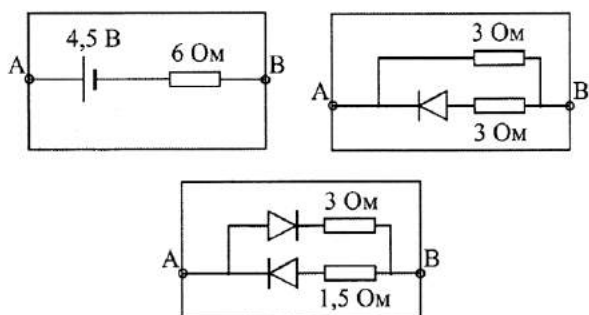


$$\sigma_m = \frac{F_1}{S_{\text{пер1}}} = \frac{\alpha R_1^2 E_1^2}{2\pi R_1 d}, \quad R_1 = 2R_0. \quad (4)$$

$$3(3) \text{ і } (4) \Rightarrow \frac{\alpha R_0^2 E_0^2}{2\pi R_0 d} = \frac{\alpha \cdot 4R_0^2 E_1^2}{2\pi \cdot 2R_0 d} \Rightarrow E_1 = \frac{E_0}{\sqrt{2}}.$$

**Задача 3.**

Найпростіші варіанти схеми „чорного ящика”



**Задача 4.**

Визначимо час  $t_1$  польоту каменя вгору:

$$H = v_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} \Rightarrow t_1 = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gH}}{g} = 1 \text{ c}.$$

Визначимо час  $t_2$  падіння і його швидкість у момент удару об карниз

$$H = \frac{gt_2^2}{2} \Rightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = 2 \text{ c},$$

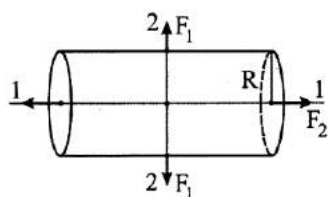
$$v = v_0 - gt_1 = 15 \text{ м/с}.$$

Тоді  $\Delta t = t_0 - t_1 - t_2 = 0,01 \text{ c}$  – час удару.

Запишемо другий закон Ньютона для удару

$$F_c \cdot \Delta t = \Delta p = mv \Rightarrow F_c = \frac{mv}{\Delta t} = 15 \text{ Н} - \text{середня сила удару.}$$

**Задача 5.**



Розгляньмо трубу закрити з торців. Нехай труба має товщину  $h$ , довжину  $l$ , радіус  $R$ . Розрив по перерізу 1-1. Механічна напруга  $\sigma_1$ , що

виникає в цьому перерізі

$$S_{\text{пер1}} = (2l + 4R)h.$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{S_{\text{пер1}}}, \quad F_1 = P \cdot S_{\text{лоб1}} = P \cdot 2Rl.$$

Сила тиску на напівциліндричну поверхню дорівнює силі тиску на площину, площа якої дорівнює площі лобового перерізу кривої поверхні. Тоді

$$\sigma_1 = \frac{P \cdot 2Rl}{(2l + 2R)h}.$$

Розрив по перерізу 2-2.

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{S_{\text{пер2}}} = \frac{P \cdot \pi R^2}{2\pi R h} = \frac{PR}{2h}.$$

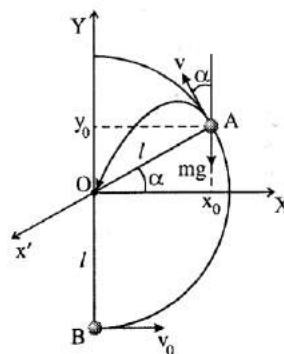
Порівняймо механічні напруги

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{P}{2h} \left( \frac{2Rl}{l+R} - R \right) = \frac{PR(l-R)}{2h(l+R)}$$

при  $l > R$  (що і буває найчастіше)  $\sigma_1 > \sigma_2$ , це означає, що імовірність розриву по перерізу 1-1 більша.

**11-й клас**

**Задача 1.**



Нехай у т. А зникає сила натягу нитки  $T = 0$ , тобто тіло переходить з колової на параболічну траєкторію. Для т. А запишемо другий закон Ньютона у проекції на вісь  $OX'$ :

$$\frac{mv^2}{l} = mg \sin \alpha \Rightarrow v^2 = lg \sin \alpha. \quad (1)$$

Для точок В і А запишемо закон збереження енергії:

$$\begin{aligned} \frac{mv_0^2}{2} &= \frac{mv^2}{2} + mgl(1 + \sin \alpha) \Rightarrow \\ \Rightarrow v_0 &= \sqrt{lg(3 \sin \alpha + 2)} \end{aligned} \quad (2)$$

Запишемо рівняння руху для тіла кинутого з т. А у системі відліку  $XOY$ :

$$x = x_0 + v_x t = l \cos \alpha - v \sin \alpha \cdot t = 0 \quad (3)$$

$$y = y_0 + v_y t + \frac{g_y t^2}{2} = l \sin \alpha + v \cos \alpha \cdot t - \frac{g t^2}{2} = 0 \quad (4)$$

$x = 0, y = 0$  – умова попадання тіла в т. О.

$$3(3) \Rightarrow t = \frac{l \cos \alpha}{v \sin \alpha}, \text{ а з (4)}$$

$$\Rightarrow t = \frac{v \cos \alpha + \sqrt{v^2 \cos^2 \alpha + 2l g \sin \alpha}}{g}$$

з (1), (3), (4) випливає

$$\frac{l g \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{v \sin^2 \alpha} = v \cos \alpha + \sqrt{v^2 \cos^2 \alpha + 2v^2} \quad (5)$$

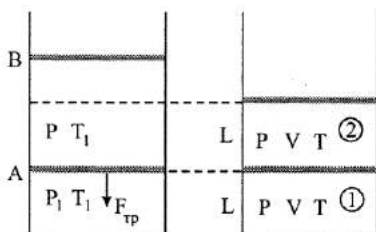
Розв'язавши рівняння (5), отримаємо

$$\cos^2 \alpha = 2/3 \Rightarrow \sin \alpha = \sqrt{3}/3$$

Знайдене значення підставимо у (2) і отримаємо:

$$v_0 = \sqrt{l(\sqrt{3} + 2)g} = 1,9 \text{ м/с}$$

### Задача 2.



Газ у верхній посудині нагрівається при  $P = const$

$$Q_2 = c_p \nu \Delta T = \frac{5}{2} R \Delta T \quad (1)$$

Газ у нижній посудині нагрівається при  $V = const$

$$Q_1 = c_V \nu \Delta T = \frac{3}{2} R \Delta T \quad (2)$$

(Враховано:

1. Газ одноатомний  $c_p = \frac{5}{2} R, c_V = \frac{3}{2} R$  – молярні теплоємності газу при  $P = const$  і  $V = const$ ;

2. Поршень А теплопровідний – початкова і кінцева температури газів 1 і 2 – однакові;

3.  $\nu = 1 \text{ моль}$ ).

$$Q = Q_1 + Q_2 = c_V \Delta T + c_p \Delta T = 4R \Delta T \quad (3)$$

Для газу у нижній посудині процес ізохорний:

$$\frac{P}{T} = \frac{P_1}{T_1} \Rightarrow T_1 = T \frac{P_1}{P},$$

тоді:

$$\Delta T = T_1 - T = T \frac{P_1 - P}{P} = T \frac{F_{mp}}{PS} = \frac{F_{mp} PV}{PSR} = \frac{F_{mp} L}{R} \quad (4)$$

(Враховано:

1. Умова рівноваги поршня А:  $PS + F_{mp} = P_1 S$ ;

$$2. PV = \nu RT \Rightarrow T = \frac{PV}{R} = \frac{PSL}{R}.$$

з (3) і (4) отримуємо:

$$\frac{Q}{4R} = \frac{F_{mp} L}{R} \Rightarrow F_{mp} = \frac{Q}{4L} = 125 \text{ Н}$$

### Задача 3.

Паралелі глобуса є екіпотенціальними лініями, це означає, що по них струм не йде, і їх можна викинути. Між полюсами залишається  $N = 360/10 = 36$  паралельно з'єднаних провідників довжиною  $l = \pi d/2$  і опором  $R_0 = \rho l$ , тоді опір між полюсами

$$R_x = \frac{R_0}{N} = \frac{\rho l}{N} = \frac{\rho \pi d}{2N} = \frac{\pi}{10} = 0,31 \text{ Ом}$$

### Задача 4.

Знехтуємо індуктивність кільця, тоді внаслідок зміни магнетного потоку, що пронизує кільце в ньому виникатиме індукційний струм. За законом електромагнетної індукції

$$\epsilon_i = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(BS_D)}{dt}$$

За умовою задачі швидкість кільця змінюється мало ( $\Delta v \ll v_0$ ), будемо вважати, що кільце рухається рівномірно, а це означає, що індукція магнетного поля у кільці зростає лінійно за час

$$t = \frac{a}{v_0} \text{ від } 0 \text{ до } B_0.$$

$\epsilon_i = \frac{B_0 S_D}{t} = \frac{B_0 S_D \cdot v}{a}$ . Звідси випливає, що сила струму в кільці:

$$I = \frac{\epsilon_i}{R} = \frac{B_0 S_D v_0}{a \cdot R}, \quad (1)$$

площа кільця

$$S_D = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2)$$

опір кільця

$$R = \rho_e \frac{l}{S_d}, \quad (3)$$

довжина кільця

$$l = \pi D, \quad (4)$$

площа перерізу дроту кільця

$$S_d = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (5)$$

Теплові втрати в кільці

$$Q = I^2 R \cdot 2t = \frac{B_0^2 S_D^2 v_0^2}{a^2 R^2} R \cdot 2 \frac{a}{v_0} = \frac{2 B_0^2 S_D^2 v_0}{a R}. \quad (6)$$

Визначаючи  $Q$ , час взяли  $2t$  тому, що час зростання поля дорівнює часові його зменшення і в обох випадках швидкість його зміни однакова, а отже і струм однаковий.

Згідно з законом збереження енергії

$$Q = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2} \Rightarrow \frac{2Q}{m} = v_0^2 - v^2.$$

При  $\Delta v \ll v_0$

$$-2v_0 \Delta v = \frac{2Q}{m}$$

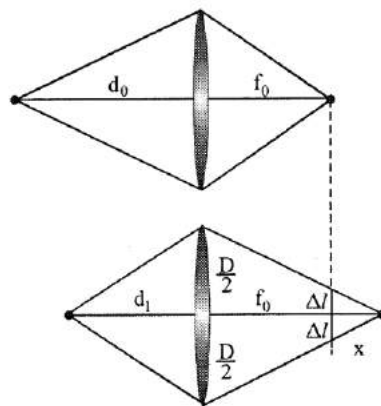
$$\Delta v = \frac{-Q}{mv_0} = -\frac{B_0^2 D^2}{8a\rho_e \rho} = -0,25 \text{ м/с}.$$

Враховано, що  $m = \rho \cdot l S_d = \rho \pi D \frac{\pi d^2}{4}$  – маса

кільця і (1)-(6).  $|\Delta v| = 0,25 \text{ м/с} \ll v_0$ , що узгоджується з умовою задачі.

### Задача 5.

Будемо вважати, що „розмитість” контура зображення удвічі менша, від „розмитості” точки.



У першому випадку

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{f_0} \Rightarrow f_0 = \frac{d_0 F}{d_0 - F}. \quad (1)$$

У другому випадку

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_0 + x}. \quad (2)$$

З другого рисунка

$$\frac{x}{2\Delta l} = \frac{x + f_0}{D} \Rightarrow x = \frac{2\Delta l f_0}{D - 2\Delta l} \Rightarrow x + f_0 = \frac{f_0 D}{D - 2\Delta l}. \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння (1), (2) і (3) отримаємо

$$d_2 = \frac{D d_0 F}{D d_0 - (D - 2\Delta l)(d_0 - F)} \approx 1,4 \text{ м}.$$

$D$  – діаметр лінзи,  $\Delta l$  – розмитість зображення,  $F$  – фокусна відстань лінзи.

Аналогічно можна розв'язати задачу для випадку  $d_1 > d_0$ .

Розв'язки підготував  
Володимир АЛЕКСЕЙЧУК





# Кульова блискавка

**К**ульова блискавка – це загадкове явище природи, про спостереження якого повідомляється упродовж декількох століть. Уявлення про реальні властивості кульової блискавки складається на основі окремих випадків її спостереження, що дає змогу одержати інформацію про її властивості. Ось декілька коротких описів появи і поведінки кульової блискавки.

*„... Була сильна гроза, звичайні блискавки били просто в землю, буркит грому заглушував усі звуки, несподівано стало тихо – лише шуміла злива. Куля кольору слонової кістки, завбільшки з горіх повільно залетіла через квартиру. Увесь час, змінюючи напрямок і швидкість, вона „обстежила” усю кімнату і вилетіла в інше вікно...”*

*„... Коли після грози зі зливою виглянуло сонце, ми відчинили вікна і незабаром побачили, як через відкриту верхню частину вікна у кімнату влетіла біла куля. Якийсь час вона повисіла над підвіконням, а потім безшумно коливаючись зліва направо наблизилась до телефонного апарата і зависла біля його нікельованих дзвінків, то майже торкаючись їх, то піднімаючись на 10-15 см. Колір при цьому змінювався від білого до блідо-блакитного. Коли один з присутніх у кімнаті жбурнув книгу в блискучу кулю, пролунав сильний вибух. Кімната наповнилась запахом диму і озону ...”*

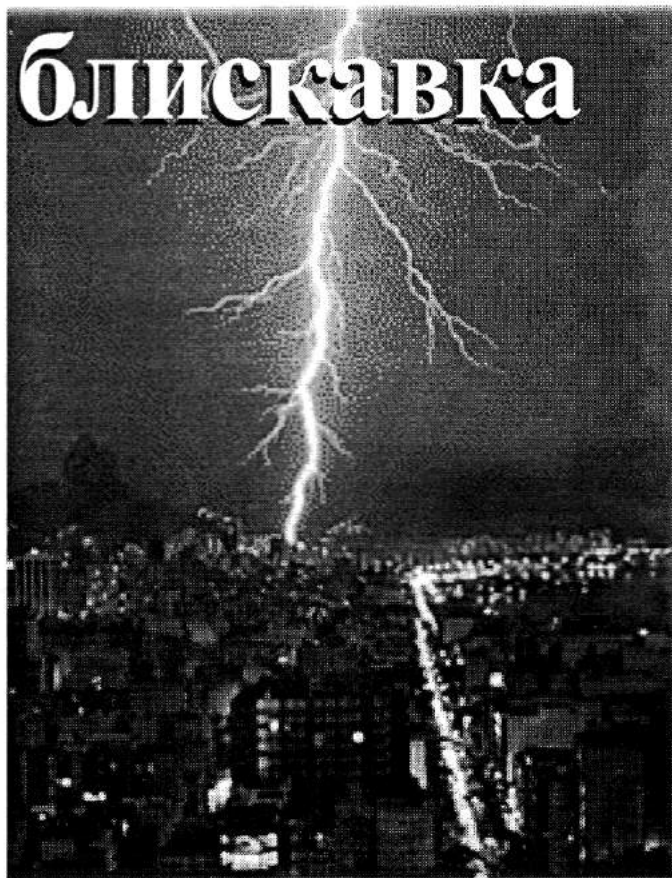
Таких історій опубліковано багато, однак існує тільки з десяток достовірних фотографій. Статистична обробка спостережуваних подій показує, що кульова блискавка, як правило, ви-

никає у грозову погоду (близько 70% випадків). Вона з'являється поблизу каналу лінійної блискавки (близько 46%), або з металевих предметів та різних пристроїв – ро-

зетки, радіоприймачі, антени тощо (близько 43%), або запалюється у повітрі з „нічого” (близько 10%).

Кульова блискавка може вільно проходити через металеві екрани, зачинені вікна і двері, не руйнуючи їх або проплавляючи у них отвори, проникати в ізольовані приміщення (у середину літаків, що летять).

Аналіз багатьох спостережуваних подій кульової блискавки дає змогу описати її. Вона є світлим утворенням у повітрі здебільшого сферичної форми діаметром від 1 до 100 см. Час її життя від кількох секунд до хвилини. Кульова блискавка рухається як вертикально, так і горизонтально зі швидкістю від 1 до 10 м/с. Наприкінці свого існування вона може вибухнути, або погаснути. Інтенсивність свічення кульової блискавки у серед-



ньому еквівалентна свіченню лампочки розжарення потужністю 100 Вт. Однак її свічення нестаціонарне, і може мати різний колір. Кульова блискавка буває оточена гало, з неї можуть вилетіти іскри. Крім того, вона є джерелом радіочастотного випромінювання. Теплове випромінювання її, зазвичай, неінтенсивне. Діапазон її внутрішньої енергії від 0,1 до  $10^3$  кДж, густина енергії від 0,1 до  $10^3$  Дж/см<sup>3</sup>. Поява кульової блискавки у приміщенні приводить до збільшення вмісту озону та двоокису азоту в повітря в 50 - 100 разів.

Учені розрізняють два види кульових блискавок: це вільно плаваюча і прикріплена блискавка. Відомо багато випадків, коли вільно плаваюча поблизу людей кульова блискавка була цілком безпечною, вона ніби уникала контакту з ними. При-



кріплена блискавка має іншу поведінку, вона затримується на провідниках, або котиться вздовж них, нагріває і навіть плавить метал. На людському тілі вона здатна зробити важкі опіки, або страшні рани (вирвані куски м'язів, тощо).

Можливо, це не два види кульових блискавок, а її різні стани, оскільки здебільшого випадків, коли фіксувався момент руйнування кульової блискавки, її можна описати як прикріплену.

Багато учених намагались проникнути в таємницю кульових блискавок. Їхні погляди на це явище природи відображено в понад 100 гіпотезах. Більшість з них умовно можна розділити на плазмохімічні, електричні та такі, що пов'язані з оптичною уявою. Сама кількість висунутих гіпотез свідчить про відсутність усталених поглядів на цю проблему.

Ще 1940 року Я.Френкель опублікував статтю „Про природу кульової блискавки”. За уявленнями автора, кульова блискавка – це кулеподібний вихр суміші частинок пилу, або диму з хімічноактивними газами, активність яких зумовлена електричним розрядом. Цей вихр у цілому електронейтральний і тому може існувати довго. Здатність вільноплаваючої кульової блискавки обминати перешкоди Я.Френкель пояснював ефектом, що спостерігається при русі вихрових кілець, і який зумовлений законами аерогідромеханіки. Для пояснення вибуху кульової блискавки автор цієї теорії використав поняття ланцюгових хімічних реакцій.

Через 15 років академік П.Капиця запропонував свою теорію

цього явища. Він вважав, що теорія Я.Френкеля, як і багато інших теорій кульової блискавки, мають єдиний, але суттєвий недолік, вони суперечать законові збереження енергії. Адже згідно з теорією Я.Френкеля, кульова блискавка мусить мати значний запас внутрішньої енергії. А згідно з оцінками П.Капиці внутрішньої енергії цієї блискавки зовсім недостатньо, щоб зумовити усі спостережувані явища. Тому академік П. Капиця вважав, що під час свічення кульової блискавки до неї весь час підводиться енергія. Джерело цієї енергії знаходиться поза самою кульовою блискавкою, а не в ній самій, як вважали раніше учені. Ймовірно, це електромагнетна енергія, що випромінюється в дециметровому діапазоні при атмосферних розрядах. Самі ж радіохвилі інтенсивно поглинаються кульовою блискавкою, яка служить об'ємним резонатором. Кульова блискавка з'являється там, де напруженість поля електромагнетної хвилі здійснює електричний пробій та іонізацію повітря. Те, що кульова блискавка рухається, у цій теорії пояснюється переміщенням пучності стоячих радіохвиль певної довжини. Вибух кульової блискавки П.Капиця пояснює припиненням підводу енергії, якщо, наприклад, різко змінюється довжина радіохвиль, і це призводить до вибухоподібного зменшення сфери розрідженого повітря.

З часу появи цих двох ґрунтовних теорій про природу кульової блискавки пройшло майже півстоліття, але зацікавленість до цієї проблеми не минає. Опубліковано нові статті, з'яви-

лись монографії, щорічно проводяться міжнародні конференції з проблем кульової блискавки, функціонує Міжнародний Комітет дослідження Кульової Блискавки. Президентом цього комітету є доктор Станлей Сінґер (Stanley Singer), який є автором найповнішої монографії „Природа кульової блискавки”. Час від часу з'являються нові погляди на природу цього явища.

Складність і багатогранність природи кульової блискавки донині не дає відтворити її в лабораторних умовах, а несподіваність її появи та короткий час життя і сильне емоційне враження, яке вона справляє на людей, ускладнює її вивчення у природних умовах.

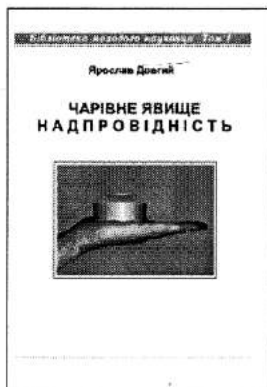
Здається дивним, що ми значно краще знаємо, що сьогодні відбувається у глибинах Космосу та атомного ядра, ніж те, що відбувається під час грози за вікном.

Кульова блискавка і сьогодні є чи не єдиним явищем природи, яке не має вичерпного наукового пояснення. Це завдання для науки майбутнього. Тільки невідомо для якої? Фізики чи хімії? А може для психології чи психіатрії? Оскільки багато людей не вірять в її реальне існування і вважає кульову блискавку оптичним обманом. Свідчення очевидців кульової блискавки є подібними до свідчень спостерігачів НЛО. Однак більшість учених вважає це явище реальним.

Таємниця природи ще нерозгадана ...

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

**Ярослав ДОВГИЙ. Чарівне явище – надпровідність.** – Львів: Євросвіт, 2000. – 400 с. іл.



*„Чарівність – це краса і загадковість одночасно. Саме таким є явище надпровідності ...”*

Так починається книжка відомого спеціаліста в галузі фізики твердого тіла, професора Львівського національного університету імені Івана Франка, популяризатора фізичної науки Ярослава Довгого **“Чарівне явище – надпровідність”**. Книга започатковує серію *„Бібліотека молодого науковця”* і виходить з друку 2000 року у видавництві „Євросвіт”.

У книзі вдало поєднано описи фізичних властивостей, краси природи і мистецтва та наукові жарти. Вона написана з великою любов'ю до фізики, буде цікавою для широкого кола читачів від молодих науковців до фахівців цієї галузі. Приймаємо попередні замовлення.

Фрагменти з книги читайте в журналі „Світ фізики”. 1998. № 1, 2; 1999. № 2.

**Геодезичний енциклопедичний словник.** Навчальний посібник. /За ред. В.Літинського. – Львів: Євросвіт, 2000. - 600 с.: 160 іл.

Геодезичний енциклопедичний словник є першим в Україні довідково-енциклопедичним виданням у галузі геодезії. Цей словник – праця великого колективу висококваліфікованих фахівців, кожен з яких є провідним спеціалістом в одній із галузей геодезії.

У ньому міститься близько 3000 статей, які охоплюють такі галузі геодезії: топографія, геодезія, вища геодезія, геодезична астрономія, космічна геодезія, планетодезія, фізична геодезія і гравіметрія, інженерна геодезія, геодезична гравіметрія, морська геодезія, картографія, аерофотознімання, фотограмметрія, геодезичні та фотограмметричні прилади, кадастр, теорія математичного опрацювання геодезичних вимірів. Назви статей Словника подані також російською та англійською мовами.



ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

1. Гаральд Іро. Класична механіка /Переклад з нім. Р.Гайди, Ю.Головача. /За ред. І.Вакарчука. - Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 1999. - 464 с.
2. Іван Вакарчук. Вступ до проблеми багатьох тіл. Посібник. - Львів: ЛНУ ім.І.Франка, 1999. - 220 с.: 12 іл.
3. Лещух Р.Й., Пермяков В.В, Полухтович Б.М. Юрські відклади півдня України. - Львів: Євросвіт, 1999. - 336 с.
4. Лейфура В.М., Мітельман І.М. та ін. Задачі міжнародних математичних олімпіад та методи їх розв'язування. - Львів: Євросвіт, 1999. -128 с.
5. Роман Гайда та Роман Пляцко. Іван Пулюй. - Львів: НТШ, 1998. -284 с.
6. Іван Вакарчук. Квантова механіка. - Львів: ЛДУ ім. І.Франка, 1998. -616 с.: 73 іл.
7. Іван Франко. Абу-Касимові капці. - Львів: Євросвіт, 1998. -96 с.: 10 іл.
8. Орест Попович. Партії та розповіді шахіста з Америки. - Львів: Академічний експрес, 1996. - 153 с.

Приймаємо попередні замовлення на книги.

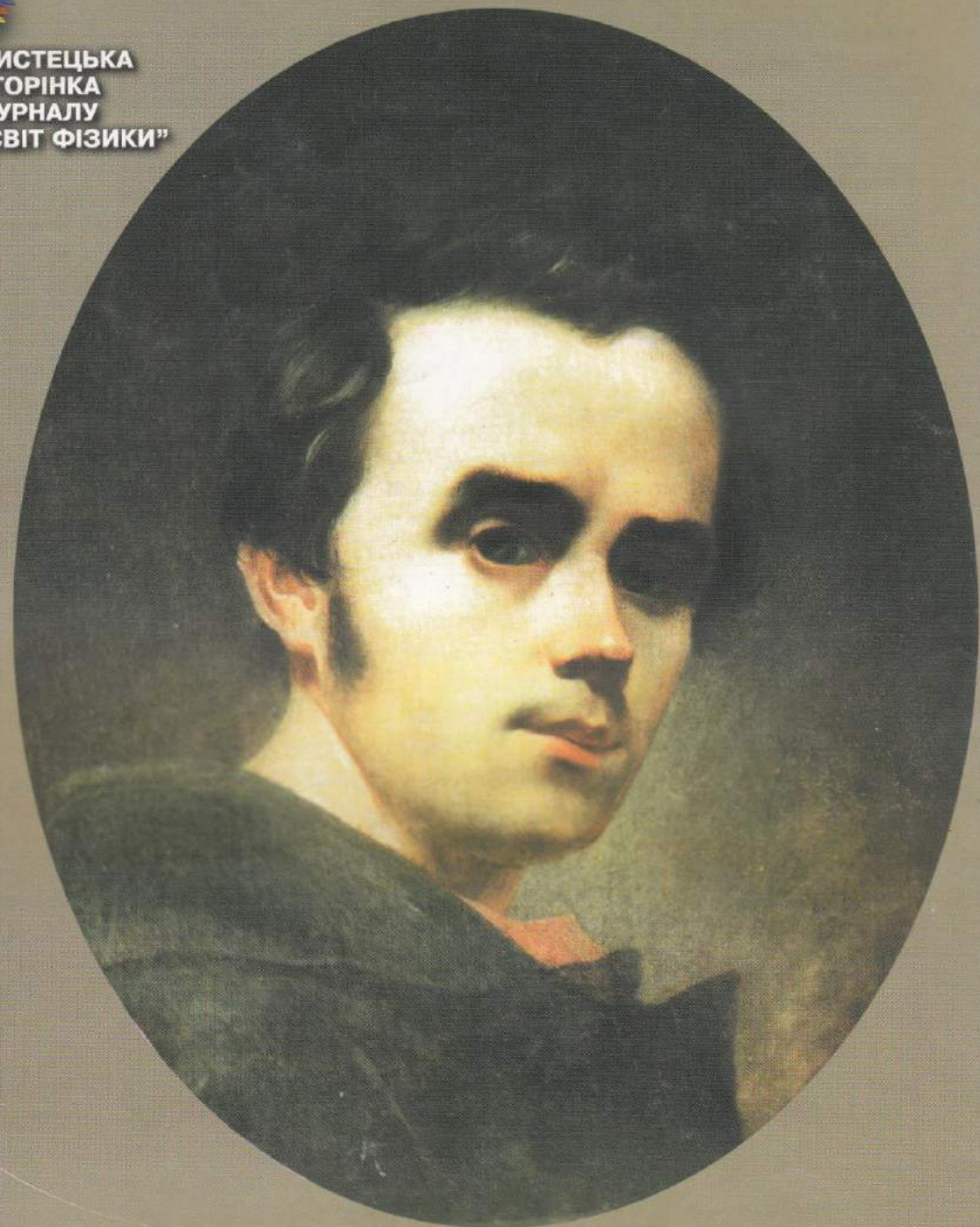
Адреса: вул. Саксаганського, 1, 79005 м. Львів, Україна.

Тел.: 00 380 0322 72 68 11; Ел. пошта: sf@ktf.franko.lviv.ua.





МИСТЕЦЬКА  
СТОРІНКА  
ЖУРНАЛУ  
"СВІТ ФІЗИКИ"



**Т. Г. Шевченко**  
**Автопортрет**  
1840  
Полотно, олія.

**Найкращий і найцінніший скарб  
доля дала йому лише по смерті –  
невмирущу славу і всерозквітаючу радість,  
яку в мільйонів людських сердець  
все наново збуджуватимуть його твори.**

**Іван Франко**

