




# СВІТ ФІЗИКИ

№3  
2004

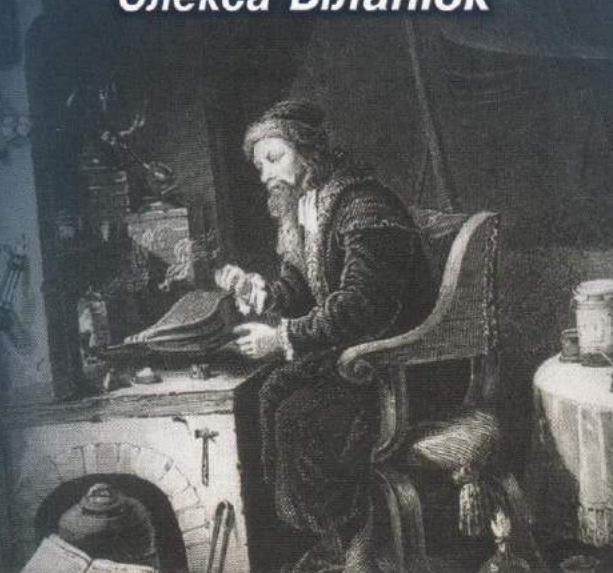
науково-популярний журнал

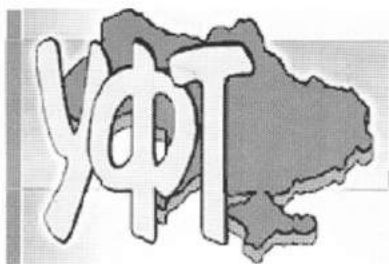


*Інтерес жвавих умів,  
яких цікавить пізнання світу,  
неодмінно приведе  
до появи нових галузей фізики,  
нових відкриттів*

**Олекса Біланюк**

**2005 рік оголошено  
РОКОМ ФІЗИКИ**





## УКРАЇНСЬКЕ ФІЗИЧНЕ ТОВАРИСТВО

18 червня 2004 року в м. Києві відбувся VI з'їзд Українського фізичного товариства (УФТ), яке було засноване 1990 року і є всеукраїнською неприбутковою громадською організацією, що об'єднує на підставі професійних інтересів громадян України, іноземних громадян та осіб без громадянства, які працюють у галузях фундаментальної і прикладної фізики та викладання фізики.

Товариство створене і діє на засадах добровільності, рівноправності його членів, самоврядування, законності та гласності. УФТ вільне у виборі напрямів своєї діяльності, яка поширюється на територію України, співпрацює з



*Виступає ректор Одеського національного університету ім. І. І. Мечнікова, академік В. А. Сминтина*



*Учасники VI з'їзду УФТ Богдан Лукіянець, Сергій Неділько, Іван Болеста, Олена Фесенко, Володимир Литовченко, Іван Вакарчук, Валерій Яцук, В'ячеслав Бондар (18 червня 2004 року, фізичний факультет Київського національного університету імені Т. Г. Шевченка)*

українськими, зарубіжними та міжнародними науковими, освітніми та фаховими організаціями.

Українське фізичне товариство налічує 30 місцевих осередків та 18 регіональних організацій Києва, Харкова, Львова, Одеси, Чернівців, Ужгорода, Івано-Франківська, Херсона, Тернополя, Дніпропетровська та інших міст України. Колективними членами є 13 провідних вищих навчальних закладів та 15 провідних наукових установ України. У Товаристві майже 1200 дійсних членів. Від 1994 року УФТ є членом Європейського фізичного товариства. Представники УФТ є також членами Ради ЕФТ.



*Учасники VI з'їзду Українського фізичного товариства (18 червня 2004 року, м. Київ)*

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 „Свросвіт”

Головний редактор

**Іван Вакарчук**

заступники гол. редактора:

**Олександр Гальчинський**

**Галина Шопя**

Редакційна колегія:

**Олекса Біланюк**

**Михайло Бродин**

**Петро Голод**

**Семен Гончаренко**

**Ярослав Довгий**

**Іван Климишин**

**Юрій Ключковський**

**Богдан Лукіянець**

**Юрій Ранюк**

**Йосип Стахіра**

**Роман Федорів**

**Ярослав Яцків**

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

**Мирослава Прихода**

Комп'ютерне макетування та друк  
СП „Свросвіт”, наклад 1000 прим.

**Адреса редакції:**

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 96 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

sf@kthfranko.lviv.ua; phworld@franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

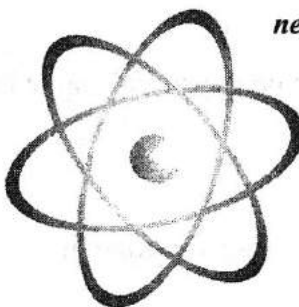
”...все більша частина людей усвідомлює те, що лише ті суспільства і держави досягають успіху в забезпеченні якості життя людини, розвиток яких ґрунтується на знаннях, а не лише на природних ресурсах, якими обдаровує їх доля. Зокрема саме знання дають змогу досягати успіху в створенні високих технологій, а це своєю чергою щораз більше вивільняє людину для її призначення – на інтелектуальну діяльність.

Поступ у ділянці високих технологій ґрунтується на досягненнях фундаментальних наук, зокрема, і чи не насамперед, фізичної науки. Це, своєю чергою, сприяє появі нових інструментальних можливостей, які дають змогу вивчати явища, що є прямими наслідками першопринципних засад фізичної науки.

Функціонування цього логічного ланцюжка здійснюють як спеціально створені державні інституції, або інституції, які підтримує держава, так і громадські спільноти, які діють не з примусу чи з зацікавленості, а з потреби серця кожного її члена, як це є з нашим Українським фізичним товариством...”

*Із виступу президента УФТ  
Івана Вакарчука на VI з'їзді*

**Не забудьте  
передплатити журнал  
„Світ фізики”**



**Передплатний індекс  
22577**

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

# ЗМІСТ

## 1. Нові й маловідомі явища фізики

Ровенчак Андрій. 80 років історії досліджень Бозе-систем

## 2. Фізика України

Баутін А. В., Головін І. С. та ін. Космічні дослідження, протон-нейтронна структура атомного ядра і пріоритет вітчизняної науки

## 3. Фізика світу

Проскура Олександр. Ленард – Нобелівський лавреат 1905 року та антипод Айнштайна

## 4. Олімпіади, турніри...

Умови задач XIII Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків 2004/2005 навчального року

## 5. Фізика для наймолодших

Старощук Валерій. Досліди Мудрагелика. Заняття 2

## 6. Олімпіади, турніри...

Кельник Олександр, Орлянський Олег. Фізичні моделі та моделі замість фізики

## 7. Творчість юних

Магеря Віталій. „Задачі з фізики” за редакцією О. Савченка

## 8. Інформація

Соколова Тетяна. Захисні технології

3

10

17

29

31

34

43

47





# 80 РОКІВ ІСТОРІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ БОЗЕ-СИСТЕМ

**Андрій Ровенчак**

кандидат фізико-математичних наук,  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Цеглинки світобудови – частинки, з якими мають справу фізики – поділяються на два великих класи. Представники першого з них, наприклад, електрони, протони, нейтрони, атоми  ${}^3\text{He}$  та ін., називаються *ферміонами* або *Фермі-частинками*. Вони мають півцілий спін ( $-1/2$ ,  $1/2$ ,  $3/2$  і т. д.) і характеризуються „індивідуалістичною” поведінкою, тобто одночасно в одному фізичному стані може перебувати лише одна частинка. До другого класу належать фотони, інші переносники взаємодій, а також атоми  ${}^4\text{He}$  і т. д., їхній спіл вимірюється цілими числами. Такі частинки називають *бозонами* або *Бозе-частинками*, вони, на відміну від ферміонів, є „колективістами”. І перші, й другі виявляють багато цікавих властивостей, але далі йтиметься про особливе фізичне явище, властиве лише бозонам і пов’язане з їхньою схильністю до „колективної” поведінки – конденсацію Бозе-Айнштайна.

Останні декілька років значно розширили наші знання про квантові Бозе-системи не лише з теоретичного боку, а й з погляду експериментальних

досліджень. Нині, крім рідкого гелію-4 та сумішей квантових рідин  ${}^3\text{He}$ - ${}^4\text{He}$ , предметом вивчення стали спіл-поляризований водень, екситонний газ у напівпровідниках, високотемпературні надпровідники, лазерно-охолоджені розріджені гази лужних металів [1] та ін.

Улітку 1995 року групі науковців у Баулдері (Колорадо, США) під керівництвом Еріка Корнелла і Карла Вімана вдалося експериментально отримати стан речовини, який є Бозе-конденсатом, охолодивши 2000 атомів  ${}^{87}\text{Rb}$  до температури 20 нК [2]. Майже одночасно аналогічні досліди провела з натрієм група на чолі з Вольфгангом Кеттерле в Массачусетському технологічному інституті [3]. Ці експерименти стимулювали нові теоретичні дослідження в галузі квантових газів і рідин. Авторів 2001 року нагородили Нобелівською премією з фізики „за отримання Бозе-Айнштайнівської конденсації в розріджених газах лужних атомів і за початкове фундаментальне вивчення властивостей конденсатів”.



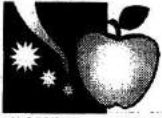
Ерік Корнелл  
(нар. 1961 року)



Карл Віман  
(нар. 1951 року)



Вольфганг Кеттерле  
(нар. 1957 року)



volumen. Es tritt eine Scheidung ein; ein Teil »kondensiert«, der Rest bleibt ein »gesättigtes ideales Gas« ( $A = 0 \lambda = 1$ ).

Daß die beiden Teile in der Tat ein thermodynamisches Gleichgewicht bilden, sieht man ein, indem man zeigt, daß die »kondensierte« Substanz und

*Фрагмент статті А. Айнштейна [6], де він вживає слово „конденсується“ стосовно атомів ідеального газу в імпульсному просторі*



*Сат'єндранатг Бозе  
(01.01.1894–04.02.1974)*

Перші кроки в дослідженні систем частинок із цілим спіном, які згодом назвали бозонами, зробили індійський учений Сат'єндранатг Бозе, який 1924 року в праці „Закон Планка та гіпотеза світлових квантів“ [4] запропонував виведення формули Планка на підставі простого статистико-механічного підрахунку, й Альберт Айнштейн, який використав цей метод для отримання розподілу квантового ідеального газу частинок з масою спокою, відмінною від нуля [5], а в наступній праці [6] вказав на явище нагромадження атомів на рівні з нульовим імпульсом, яке власне й назвав „конденсацією“.

У природі загалом існує небагато систем, які, з одного боку, виявляють суттєво квантові властивості, а з іншого – можуть розглядатися як такі, що складаються із невзаємодіючих бозонів. Серед прикладів є випромінювання, про яке й писав Бозе, а також (з певними застереженнями) – „газ“ куперівських пар у надпровіднику. Із простих атомарних рідин під цю характеристику міг би підійти рідкий гелій-4, атоми якого є легкими бозонами, отже, їх поведінка суттєво квантова, але міжатомна взаємодія у цій системі надто сильна, щоб розглядати її як ідеальну навіть наближено. Квантовим Бозе-газом є також система спин-поля-



*Альберт Айнштейн  
(14.03.1879–18.04.1955)*

ризованих атомів водню, проте отримати її та проводити з цим газом досліди технічно складно, вперше стабілізувати атомарний водень вдалося Сильвері та Вальравену 1980 року в Амстердамі [7, 8]. Звичайний водень, хоч і легший за гелій, переходить у твердий стан раніше, ніж досягає критичної температури, яка відповідає переходові у фазу Бозе-конденсату. Про можливість Бозе-конденсації ізотопів водню (H, D і T) у газовій фазі писав Чарльз Гехт ще 1959 року [9].

Рідкий гелій-4 став історично першою (і тривалий час залишався єдиною) Бозе-системою, яку докладно вивчали і далі вивчають теоретики й експериментатори. Сам фазовий перехід у рідкому  $^4\text{He}$  вперше виявив Віллем Гендрік Кеесом зі співпрацівниками\*, проводячи наприкінці 1920 – на початку 1930-х років низькотемпературні дослідження в лабораторії Камерлінга-Оннеса [10, 11, 12]. Незвична форма кривої теплоємності з пікоподібним ходом в околі температури  $T \approx 2 \text{ K}$  стала причиною назви цього явища –  $\lambda$ -перехід (1932).

\* Співавтором цих праць був професор Варшавського політехнічного інституту Мечислав Вольфке (Mieczysław Wolfke, 1883–1947), який читав у Львівському університеті у 1928–1929 навчальних роках лекції зі статистичної механіки і теорії квантів.



26 Comm. N<sup>o</sup>. 221d. W. H. KEESOM and Miss A. P. KEESOM.

for the point at which this jump occurs. According to a suggestion made by Prof. ERENFEST we propose to call that point, considering the resemblance of the specific heat curve with the Greek letter  $\lambda$ , the *lambda-point*.

The curve that shows how the lambda-point depends on the pressure will be called the *lambda-curve* <sup>1)</sup>.

Фрагмент статті В. Г. Кeesома й А. П. Кeesом [10], де вказано на причину виникнення терміна „ $\lambda$ -точка”, яку запропонував Пауль Ерeнфeст



Фріц Лондон  
(7.03.1900–30.03.1954)



Віллем Гендрік Кeesом  
(21.06.1876–24.03.1956)

Фріц Лондон [13, 14] 1938 року висловив припущення про зв'язок фазового переходу в гелію-4 Бозе-Айнштайнівською конденсацією, що відбувається з пониженням температури в ідеальному Бозе-газі. Попри те, що така аналогія, зважаючи на досить сильну взаємодію між атомами гелію, видається не дуже вдалою, сьогодні виглядає, що саме цей мікроскопічний підхід дає змогу добре описувати поведінку <sup>4</sup>He.

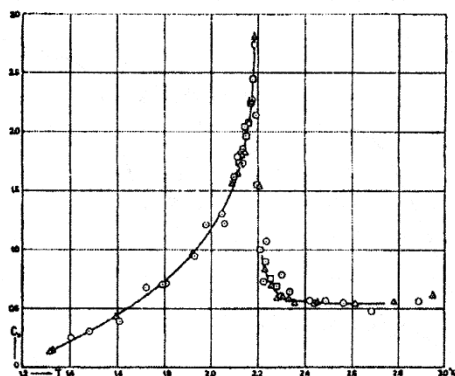
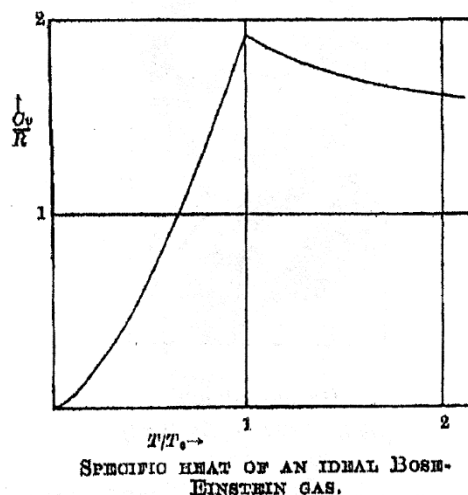


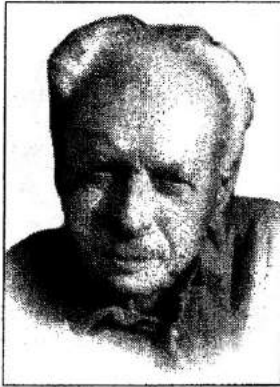
Fig. 2.

△ April 21, 1932. □ April 28, 1932. ○ Keesom and Slichter.

Експериментальна крива теплоємності гелію-4, рисунок з [10]



Теоретична крива теплоємності ідеального Бозе-газу, за працею [13]



Ласло Тіса  
(нар. 1907 року)

Того ж 1938 року Петро Капиця [15] та незалежно від нього Аллен і Майснер [16] відкрили явище надплинності в рідкому  $^4\text{He}$ , тобто здатність цієї рідини текти капілярами без тертя. За працею [17], експериментально виміряну в'язкість гелію-4 при температурі, меншій від температури фазового переходу, оцінено як принаймні у 1 500 разів нижчу від в'язкості нормальної модифікації гелію при 4,22 К. П. Капиця також вказав на те, що відома на той час надзвичайно висока теплопровідність  $^4\text{He}$  може бути наслідком його надплинності.



Петро Капиця  
(09.07.1894–08.04.1984)

Ця ідея розвинулась у дворідинній моделі Льва Ландау [23], яка дещо відрізняється від моделі Л. Тіси. У її побудові суттєвим моментом стало постулювання енергетичного спектра елементарних збуджень у гелії у вигляді фононної та ротон-

ної частин (рис. 1). Підбір трьох параметрів цієї кривої дав змогу отримати дуже добрий опис гелію-4 на макроскопічному рівні. Проте Л. Ландау так і не вдалося побудувати мікроскопічної теорії, яка би пояснювала такий спектр.



Лев Ландау  
(22.01.1908–01.04.1968)

Микола Боголюбов 1947 року для опису взаємодіючого Бозе-газу застосував оригінальний метод наближеного вторинного квантування [24]. Було використано припущення про те, що слабка взаємодія тільки незначно змінює картину конденсації Бозе-Айнштейна в ідеальному Бозе-газі. Тому кількість частинок у конденсаті можна вважати макроскопічною (при малих температурах), а оператори породження і знищення частинок з нульовим імпульсом наближено замінити на  $c$ -числа  $\sqrt{N}$ , де  $N$  – кількість частинок у системі.

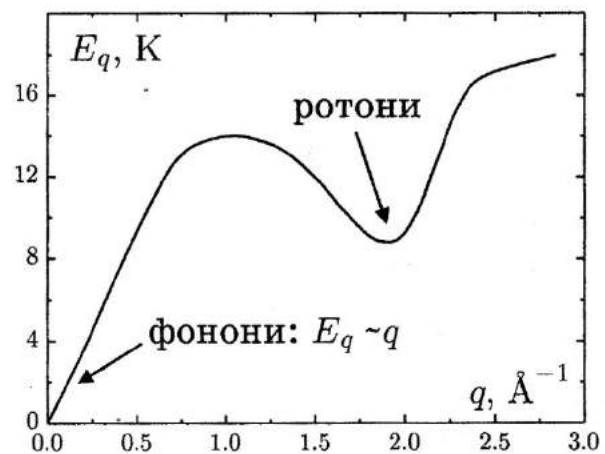


Рис. 1. Енергетичний спектр  $^4\text{He}$





Тоді після діагоналізації гамільтоніана в першому наближенні отримаємо енергетичний спектр нових квазічастинок, які є бозонами. Незважаючи на те, що для застосування цієї моделі міжатомна

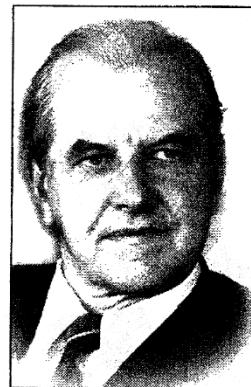


*Микола Боголюбов*  
(08(21).08.1909–13.02.1992)

взаємодія має бути слабкою, результати Боголюбова виявилися коректними в межах низьких температур і для рідкого гелію-4. У 1950-х роках М. Боголюбов і Д. Зубарев\* розробили метод колективних змінних, за допомогою якого вдалося знайти хвильову функцію основного стану системи взаємодіючих бозонів, а також їхні функції розподілу [25].

Дещо згодом Річардові Файнману [26] вдалося отримати подібну енергетичну криву, що правда, із удвічі завищеним „ротонним” мінімумом, а згодом він з Коеном [27] запропонував модифікацію методу [26], що дало змогу знизити значення мінімуму з 19,1 К до 11,5 К, тоді як на кривій Ландау воно становить 9,6 К. У цих розрахунках у вираз для хвильової функції вводили множники, що відповідали фононним і ротонним збудженням, і далі застосовували варіаційний принцип для енергії. Раніше, 1953 року, Р. Файнман опублікував працю [28], у якій розвинув ідею Ф. Лондона щодо Бозе-конденсації як механізму  $\lambda$ -переходу, описавши багатобозонну систему через інтеграли за траек-

\* М. Боголюбов і Д. Зубарев неодноразово бували у Львові, виступали з доповідями на кафедрі теоретичної фізики Львівського університету імені Івана Франка і в Інституті фізики конденсованих систем.



*Дмитро Зубарев*  
(27.11.1917–29.07.1992)

торіями, а також увівши поняття ефективної маси атома гелію, пов'язаної зі взаємодією з оточенням.

Спартак Беляев 1958 року до опису багаточастинкової Бозе-системи застосував формалізм теорії поля [29]. За його допомогою вдалося отримати спектр неідеального Бозе-газу. Зі своїх результатів Беляев зробив висновок про те, що різниця між реальним гелієм-4 (Бозе-рідиною) і неідеальним Бозе-газом є лише кількісною, а не якісною [30].

Наступні десятиріччя принесли бурхливий розвиток різноманітних методів вивчення квантових систем. Розвивалася техніка числових (Монте-Карло) розрахунків, ренормалізаційна група, метод колективних змінних... Виникли нові експериментальні методи, до <sup>4</sup>Не додалися інші системи, про які було згадано на початку статті... Кількість цих праць зростала дуже швидко, тому їх складно проаналізувати в короткому огляді, а тим паче виділити окремі з них.



*Річард Файнман*  
(11.05.1918–15.02.1988)



Спартак Беляєв  
(нар. 27.10.1923 року)

Такі дослідження проводили й у Львові: спочатку у Відділенні статистичної фізики Інституту теоретичної фізики НАН України (від 1990 року – Інститут фізики конденсованих систем НАН України) (Ігор Юхновський, Іван Вакарчук [31, 32]), а згодом – на кафедрі теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка (І. Вакарчук та ін. [33, 34]). Зокрема було розроблено мікроскопічну теорію Бозе-рідини з урахуванням близько- і далекодіючих кореляцій, запропоновано оригінальний метод розрахунку частки Бозе-конденсату через функції розподілу. Дослідження у цьому напрямі тривають. Вони пов'язані з вивченням сумішей квантових рідин, магнетної Бозе-рідини, із питаннями ефективної маси  ${}^4\text{He}$  і т. д.

...Сьогодні Бозе-системи вже перестали бути тільки предметом досліджень „чистої” науки. Поступ техніки дає змогу знайти практичне застосування явища Бозе-конденсації в галузі новітніх технологій: як елементів у квантових комп'ютерах, для запису інформації тощо. Можливо, за сто років після виникнення понять „конденсація Бозе-Айнштейна”, „Бозе-конденсат” ці словосполучення стануть звичними не лише для науковців, а й для широкого загалу.

#### Література

[1] Bose-Einstein Condensation /Ed. by A. Griffin, D. W. Snoke, S. Stringari. – Cambridge: Cambridge University Press, 1995. – xiii, – 602 p.

[2] Anderson M. H., Ensher J. R., Matthews M. R., Wieman C. E., Cornell E. A. Observation of Bose-Einstein Condensation in a Dilute Atomic Vapor // Science. – 1995. – Vol. 269, No. 5221. – P. 198–201.

[3] Davis K. B., Mewes M.-O., Andrews M. R., van Druten N. J., Durfee D. S., Kurn D. M., Ketterle W. Bose-Einstein Condensation in a Gas of Sodium Atoms // Phys. Rev. Lett. – 1995. – Vol. 75, No. 22. – P. 3969–3973.

[4] Bose [S.] Plancks Gesetz und Lichtquantenhypothese // Zeitschrift für Physik. – 1924. – Bd. 26, H. 3. – S. 178–181.

[5] Einstein A. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases // Sitzungsber. Preuss. Königl. Akad. Wiss.: phys.-math. Klasse. – 1924. – S. 261–267; Эйнштейн А. Квантовая теория одноатомного идеального газа // Эйнштейн А. Собрание научных трудов: В 5 т. – Т. 3. – С. 481–488.

[6] Einstein A. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. Zweite Abhandlung // Sitzungsber. Preuss. Königl. Akad. Wiss.: phys.-math. Klasse. – 1925. – S. 3–14; Эйнштейн А. Квантовая теория одноатомного идеального газа. Второе сообщение // Эйнштейн А. Собрание научных трудов: В 5 т. – Т. 3. – С. 489–502.

[7] Silvera I. F., Walraven J. T. M. Stabilization of Atomic Hydrogen at Low Temperature // Phys. Rev. Lett. – 1980. – Vol. 44, No. 3. – P. 164–168.

[8] Walraven J. T. M., Silvera I. F. Density, Magnetization Compression, and Thermal Leakage of Low-Temperature Atomic Hydrogen // Phys. Rev. Lett. – 1980. – Vol. 44, No. 3. – P. 168–171.

[9] Hecht Ch. E. The Possible Superfluid Behaviour of Hydrogen Atom Gases and Liquids // Physica. – 1959. – Vol. 29. – P. 1159–1161.

[10] Keesom W. H., Keesom A. P. On the anomaly in the specific heat of liquid helium // Communications from the Physical Laboratory of Leiden. – 1932. – № 221d. – P. 19–26.

[11] Keesom W. H., Clusius K. Ueber die spezifische Wärme des flüssigen Heliums // Proc. Roy. Acad. Amsterdam. – 1932. – Vol. 35. – P. 307–320.

[12] Кеезом В. Гелий. – М.: Изд-во иностр. лит., 1949. – 542 с.

[13] London F. The  $\lambda$ -Phenomenon of Liquid Helium and the Bose-Einstein Degeneracy // Nature. – 1938. – Vol. 141, No. 3571. – P. 643–644.

[14] London F. On the Bose-Einstein Condensation // Phys. Rev. – 1938. – Vol. 54, No. 11. – P. 947–954.

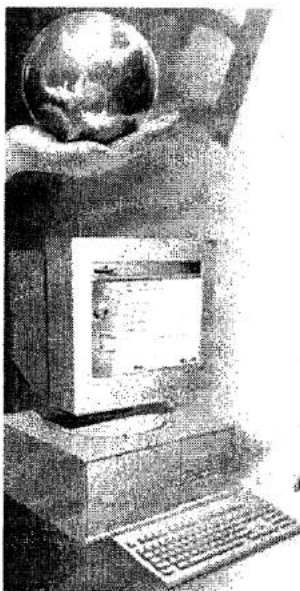
[15] Kapitza P. Viscosity of Liquid Helium below the  $\lambda$ -Point // Nature. – 1938. – Vol. 141, No. 3538. – P. 74.

[16] Allen J. F., Misener A. D. Flow of Liquid Helium II // Nature. – 1938. – Vol. 141, No. 3538. – P. 75.

[17] Капица П. Л. Вязкость жидкого гелия при температурах ниже точки  $\lambda$  // Докл. АН СССР. – 1938. – Т. XVIII, № 1. – С. 21–23.



- [18] Tisza L. Sur la Théorie des Liquides Quantiques. Application a l'Hélium Liquide. I // Journal de Physique et Radium. – 1940. – Vol. 1, № 5. – P. 164–172.
- [19] Tisza L. Sur la Théorie des Liquides Quantiques. Application a l'Hélium Liquide. II // Journal de Physique et Radium. – 1940. – Vol. 1, № 8. – P. 350–358.
- [20] Tisza L. The Theory of Liquid Helium // Phys. Rev. – 1947. – Vol. 72, No. 9. – P. 838–854.
- [21] Azuah R. T., Stirling W. G., Glyde H. R., Boninsegni M., Sokol P. E., Bennington S. M. Condensate and final-state effects in superfluid  $^4\text{He}$  // Phys. Rev. B. – 1997. – Vol. 56, No. 22. – P. 14620–14630.
- [22] Glyde H. R., Azuah R. T., Stirling W. G. Condensate, momentum distribution, and final-state effects in liquid  $^4\text{He}$  // Phys. Rev. B. – 2000. – Vol. 62, No. 21. – P. 14337–14349.
- [23] Ландау Л. Теория сверхтекучести гелия-II // Журн. эксп. теор. физ. – 1941. – Т. 11, Вып. 6. – С. 592–614.
- [24] Боголюбов Н. Н. К теории сверхтекучести // Изв. АН СССР. Сер. физ. – 1947. – Т. 11. – № 1. – С. 77–90; Боголюбов Н. Н. К теории сверхтекучести // Боголюбов Н. Н. Избранные труды. В 3 т. – К.: Наук. думка, 1970. – Т. 2. – С. 210–224.
- [25] Боголюбов Н. Н., Зубарев Д. Н. Волновая функция нижнего состояния системы взаимодействующих бозе-частиц // Журн. эксп. теор. физ. – 1955. – Т. 28, Вып. 2. – С. 129–139.
- [26] Feynman R. Atomic Theory of the Two-Fluid Model of Liquid Helium // Phys. Rev. – 1954. – Vol. 94, No. 2. – P. 262–277.
- [27] Feynman R. P., Cohen M. Energy spectrum of the Excitations in Liquid Helium // Phys. Rev. – 1956. – Vol. 102, No. 5. – P. 1189–1204.
- [28] Feynman R. Atomic Theory of the  $\lambda$  Transition in Helium // Phys. Rev. – 1953. – Vol. 91, No. 6. – P. 1291–1301.
- [29] Беляев С. Т. Применение методов квантовой теории поля к системе бозе-частиц // Журн. эксп. теор. физики. – 1958. – Т. 34, Вып. 2. – С. 417–432.
- [30] Беляев С. Т. Энергетический спектр неидеального бозе-газа // Журн. эксп. теор. физ. – 1958. – Т. 34, Вып. 2. – С. 433–446.
- [31] Вакарчук И. А., Юхновский И. Р. Разделение „нормального” и „сверхтекучего” движений в уравнении Шредингера при помощи метода смещений и коллективных переменных // Теор. мат. физ. – 1974. – Т. 18, № 1. – С. 90–107.
- [32] Вакарчук И. А. Матрицы плотности многобозонной системы при низких температурах // Теор. мат. физ. – 1975. – Т. 23, № 2. – С. 260–272.
- [33] Вакарчук И. А. Бозе-конденсат в жидком  $\text{He}^4$  // Теор. мат. физ. – 1985. – Т. 65, № 2. – С. 285–295.
- [34] Vakarchuk I. O. The Magnetic Bose Liquid // J. of Phys. Stud. (Lviv). – 2003. – Vol. 7, № 1. – P. 40–49.



## НОВИНИ ІНТЕРНЕТУ

### Чи існують бозони Гігса?

Невловимі бозони Гігса, що пояснюють таке явище як маса – взагалі не існують. Так вважають дослідники, які впродовж року аналізували одержані в ЦЕРНі дані.

За стандартною моделлю (теорією, за допомогою якої фізики пояснюють існування матерії) фундаментальні частинки, з яких складається матерія, – це мюони, електрони, нейтрино і кварки. В 1960-ті роки дослідники успішно описали процеси взаємодії між цими частинками завдяки сильним і слабким ядерним силам. Проте це не пояснювало, чому частинки мають масу, аж доти, поки Пітер Гігс з Единбурзького університету не припустив, що простір заповнений важкою субстанцією, яку нині називають полем Гігса. Його праця спричинила 30-річний пошук загадкових частинок. Враховуючи маси і сили взаємодії інших відомих частинок, фізики підраховали, що бозони Гігса мають мати масу (або енергію) майже 80 ГеВ. Частинки такої маси можна одержати, якщо в прискорювачі зіштовхнути частинки з такою або більшою енергією. Саме цим упродовж п'яти років займались науковці

ЦЕРНа на Великому електрон-позитронному коллайдері. Вони проаналізували зібрані за ці роки результати і ... не знайшли нічого. У них склалося враження, як заявив Джон Свейн з Північно-східного університету в Бостоні, що частинки Гігса взагалі не існують.

(продовження див. на стор. 28)



До 100-річчя від дня народження  
Дмитра Дмитровича Іваненка

## Космічні дослідження, протон-нейтронна структура атомного ядра і пріоритет вітчизняної науки

Радянська наука, безперечно, істотно вплинула на розвиток людства ХХ сторіччя. Етапи розвитку математики, фізики, астрономії, хемії, біології й інших наук стали важливими віхами в історії, вершина яких – радянські космічні дослідження, що почались із запуску у космос 4 жовтня 1957 року першого штучного супутника Землі, а 12 квітня 1961 року – польоту першого космонавта планети. Завдяки ідеям К. Е. Ціолковського, С. П. Корольова, О. М. Ісаєва, В. П. Глушко й інших дослідників космосу людство піднялось на новий щабель знань про Всесвіт. Завдяки цьому нині актуальною стає наука про космос і простір – теоретична космологія в широкому значенні слова – наука, яка вивчає тяжіння та інші види фундаментальних взаємодій, властивості простору й доквілля, від елементарних частинок і мікрокосмосу до безмежних просторів Всесвіту.

Після жовтня 1957 року, коли вітчизняні конструктори, інженери, науковці започаткували практичні дослідження космосу, логіка еволюції людських знань вивела на перший план потребу в інтенсивних теоретичних дослідженнях. Стра-

тегічним завданням науки вже на той час було подолання консервативного стилю мислення і початок масштабних досліджень у деяких нових пріоритетних напрямках.

Серед природничих наук чільне місце посідає фізика – наука про фундаментальні закони природи, а з усіх видатних імен науковців у цій галузі не можна не виділити імені Дмитра Дмитровича Іваненка. Його ім'я тісно пов'язане з сучасною ядерною фізикою і фізикою елементарних частинок, квантовою механікою, квантовою теорією тяжіння та інших фізичних полів.

Народився Дмитро Іваненко (29.06.1904–30.12.1994) у Полтаві. Його дід (по батькові), як і багато з його роду, був священиком, а батько видавав газету „Полтавський вісник”.

Якщо нині запитати, як створена природа, із чого складається речовина, що нас оточує, то майже кожний школяр скаже, що з маленьких частинок – атомів. Атоми складаються з електронів і ядер, а самі ядра – із протонів і нейтронів. Але те, що вперше ідею про будову атомних ядер, які складаються з протонів і нейтронів, висунув Д. Іваненко, відомо не всім.



**Дмитро Дмитрович Іваненко** народився 29 липня 1904 року в м. Полтаві, в інтелігентній українській родині. Закінчив Ленінградський університет 1927 року і все своє життя присвятив теоретичній фізиці. Працював у Ленінградському фізико-технічному інституті. У 1929–1931 рр. він був завідувачем відділу теоретичної фізики Українського фізико-технічного інституту в Харкові. Згодом працював у вищих навчальних закладах Ленінграда, Томська, Свердловська і Києва.

А 1935 року його репресували, відбував заслання у Томську. На той час це було відносно м'яке покарання (хоч, як звичайно, ні за що). У Томську Дмитро Дмитрович працював за фахом у місцевому університеті. Від 1943 року Д. Іваненко був професором Московського державного університету.



Протон-нейтронну модель ядра Д. Іваненко встановив 1932 року. Нині ця ідея видається дуже простою. А 1932-го року, коли тільки що було відкрито нейтрон, цю проблему не зміг розв'язати жоден з інших фізиків. Наприклад, Е. Резерфорд, встановивши, що із ядер під час ядерних реакцій вилітають протони, а під час радіоактивному бета-розпаді – електрони, висунув неправильну гіпотезу, що атомні ядра складаються із протонів і електронів. Е. Резерфорд, як і інші дослідники того часу, вважав що може існувати атомне ядро із одного протона й одного електрона, будучи електрично нейтральним. Нейтрон, який відкрив Дж. Чедвік 1932 року, багато хто природно вважав за нейтральне ядро. Однак тоді з'явилися відомості, які дали підстави сумніватися в гіпотезі Е. Резерфорда. Гіпотеза, яку висунув Д. Іваненко, розв'язувала суперечності. Вона успішно подолала труднощі попередньої моделі Ван ден Брука 1913 року, яка не пояснювала спіни, магнетні моменти ядер, природи бета-розпаду. До 1932 року подібні труднощі марно пробували розв'язати, наприклад, В. Гейтлер й інші дослідники, припускаючи, що втрата деяких властивостей електронів у ядрах, а також Нільс Бор, будуючи теорію з незбереженням енергії. Аналіз дослідних даних і допоміжної гіпотези про заміну неперервного простору дискретним, яку висунули 1930 року Д. Іваненко і В. Амбарцум'ян, дедалі частіше натякав на неможливість окремого існування електронів у ядрах, а також на тісний зв'язок їх із протонами. Після то-

го, як 1932 року було відкрито нейтрон, Д. Іваненко висунув свою знамениту гіпотезу, що ядро складається з тяжких частинок – протонів і нейтронів. Водночас гіпотеза Іваненка полягала не просто в тому, що ядра складаються з протонів і нейтронів, а передусім про уявлення про нейтрон як елементарну частинку. Нейтрон є „родичем” протона. „Нейтрон такою ж мірою елементарний, як і протон.” Цей вислів Іваненка актуальний і нині, якщо мати на увазі, що протони і нейтрони однаково складаються з кварків. До речі, ідею про те, що нейтрони і протони складаються із частинок фундаментальнішого ієрархічного рівня, Д. Іваненко неодноразово висловлював ще задовго до того, як з'явилась гіпотеза про кварки.

Дмитро Дмитрович уперше запропонував розглядати електрони, що випромінюються під час бета-розпаду ядер, як частинки, які *народжені* подібно до випромінюваних фотонів. Науковець порівнював випромінювані електрони з ядра з випромінюваним фотоном збудженим атомом: фотон не перебуває у збудженому атомі, а *народжується* завдяки електромагнетної взаємодії. Це було важливим передбаченням. Воно давало відповідь на запитання: „Як під час бета-розпаду із ядра вилітає електрон, якщо його в ядрі не було?” Ці ідеї Дмитра Дмитровича розвинув інший великий фізик ХХ сторіччя – Е. Фермі. Як згадували його колеги, для Е. Фермі під час створення теорії бета-розпаду найбільшу психологічну складність становила якраз ідея про „народження” частинок.

На початку війни йому пощастило переїхати до Свердловська (Єкатеринбурга) де він також викладав в університеті. Повернутися до Москви йому вдалося лише після війни, та й то, до завідування кафедрою фізики в Тимирязівській сільськогосподарській академії. Катедру в Московському державному університеті він зміг очолити трохи згодом.

Д. Іваненко був не лише світової слави вченим, хоч і не надто популярним на батьківщині, а й видатним, блискучим лектором. Був великим знавцем історії фізики, саме з його лекцій завжди можна було довідатися: хто, як та внаслідок яких саме (правдоподібно) міркувань прийшов до того, чи іншого відкриття.

Добре знаючи змолоду іноземні мови (англійську, німецьку), він пильно стежив за світовою літературою. У вісімдесят виглядав, наче у тридцять. З його ініціативи та з його участю було перекладено багато актуальних книжок з теоретичної фізики, перші з яких побачили світ ще перед війною (зокрема видатна „Теорія відносності” А. Еддінгтона, чи не найкраща й досі книжка з цього предмета). Перекладацьку діяльність ученого ще належить дослідити й належно оцінити.



Але саме це положення є основою сучасної теорії елементарних частинок. І його висунув Д. Іваненко. Ось яким важким був кожний принципово новий крок у створенні моделі ядра, яка нині виглядає зовсім очевидною.

Складність встановлення моделі ядра видно й на прикладі помилки Гайзенберга. Цей видатний фізик ХХ сторіччя відразу підтримав модель Іваненка, хоча намагався трактувати бета-розпад як виліт електронів із нейтронів.

Модель Іваненка ввійшла в історію як одна з найважливіших віх ядерної фізики, встановивши пріоритет вітчизняної науки.

Наступним важливим кроком у теорії ядер було пояснення природи сил між протонами і нейтронами всередині ядра. Над цією проблемою тоді працювало багато видатних науковців. Наприклад, у журналі „Доповіді Академії наук” була опублікована стаття Л. Ландау та І. Тамма, які намагалися трактувати сили всередині ядра як електромагнетні. Концепції першої теорії ядерних сил, зумовлених дією посередників, встановили 1934 року Д. Іваненко та І. Тамм, виходячи із теорії Фермі бета-розпаду, яка ґрунтувалась на ідеї Іваненка про народження електронів у бета-розпаді. Дуже важливим було його припущення про масивні посередники, яке стало головним в усіх сучасних теоріях фізичних взаємодій і яке розвинув 1935 року японський фізик Гідекі Юкавою.

Ще одним із важливих відкриттів Дмитра Дмитровича стало передбачення синхротронного

випромінювання. До початку 1940-х років відкриття в ядерних реакціях і космічних променях багатьох елементарних частинок висунуло на перший план створення прискорювачів. З першого погляду здавалось, що електрони можна було прискорити до безмежно високих енергій. Однак, уважніше розглянувши це питання, Д. Іваненко і І. Померанчук 1943 року зауважили, що високошвидкісний електрон, який рухається по колу в магнетному полі, буде інтенсивно випромінювати. Це випромінювання, інтенсивність якого швидко зростає із ростанням швидкості електрона, ускладнює прискорення. Про передбачене явище науковці повідомили в журналах у СРСР і США, що спонукало американських фізиків шукати це випромінювання. У квітні 1947 року Г. Поллок з колегами виявили це випромінювання.

Після відкриття синхротронного випромінювання у США почав виходити журнал „Синхротронне випромінювання”. Дмитро Дмитрович отримав поштою перший почесний екземпляр, як науковець, що вперше передбачив це явище. Дослідження випромінювання – одне з найважливіших наукових напрямів сьогодні, воно відкриває нові перспективи в промисловості, техніці, медицині. Якщо ХХ сторіччя було сторіччям рентгену, то наступне, напевно, буде епохою синхротронного випромінювання.

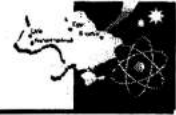
Праці Д. Іваненка особливо вагомими були в галузі квантової теорії поля і теорії тяжіння. Науковець з колегами 1928 року запропонував опи-

---

Незважаючи на закритість радянського суспільства, Д. Іваненко якось відвоював собі можливість бути за кордоном та гідно представляв там нашу теоретичну фізику. Знав і при нагоді приймав у себе видатних фізиків сучасності, які залишили свої автографи на стіні його кабінету в Московському державному університеті. Там були підписи Нобелівських лавреатів, друзів, з якими він листувався – англійця Пола Дірака, що зумів описати поведінку релятивістського електрона, та японця Гідекі Юкави, який відкрив  $\pi$ -мезон на кінчику свого пера за десять років перед його експериментальним відкриттям. Були підписи німця Юргена Тредера, дослідника квантових геометродинамік та японця Сьоїті Сакати, автора тричасткової моделі баріонів.

У Москві учений нудьгував, тому часто бував в Україні, зокрема в Києві, де жила його сестра, добре відома дітям України письменниця Оксана Іваненко. Дмитро Іванович досконало знав історію Києва, історію мало не кожного його будинку.

Понад два десятиріччя (з 1959 р.) Д. Іваненко був незмінним членом оргкомітету відомих Ужгородських конференцій. Офіційно їх називали „Всесоюзні конференції з теорії квантованих полів та елементарних частинок”. Влаштували їх, переважно, проф. Ю. Ломсадзе та його катедра в Ужго-



сати ферміони системою антисиметричних тензорів будь-якого рангу, узагальнюючи опис електромагнетного поля тензором другого рангу. Згодом (1962) до вивчення подібних об'єктів підійшов німецький математик Е. Келер. Так цей науковий напрям став визнаним, привертаючи велику увагу і сили нових поколінь дослідників.

Дмитро Іваненко 1928 року запропонував дослідити лінійну метрику, зіставивши її з рівнянням Дірака, що викликало зацікавлення А. Зоммерфельда. Це мало цікаве продовження в працях теоретиків японської школи. Ця ідея спонукала Д. Іваненка дослідити з В. Фоком проблему загальноковаріантної похідної спінорів. Вирішальний крок було зроблено 1929 року: було побудовано спінорну в'язкість у геометрії Рімана, компоненти якої нині називають коефіцієнтами *Іваненка-Фока*. Інші поширені назви – *зошити* чи *репери*. Їхнє використання відіграє *важливу* роль у фізиці *вже понад 50 років*, включаючи більшість найпоширеніших підходів у багатьох версіях і модифікаціях: теорії усіх видів взаємодій, тяжіння, суперсиметрії, струн та інших узагальнень. А це *сотні тисяч* праць у наукових журналах і окремих монографіях.

Аналізуючи цю проблему, один з великих фізиків Абдус Салам ще 1973 року підкреслював, що фактично у працях Д. Іваненка і його школи і, паралельно з ними, Германа Вейля вже була проведена певна робота з групою координатних пе-

ретворень Лоренца, яка привела до калібрувального трактування поля тяжіння. Це підхід до опису тяжіння принципово новий.

У 1956–1961 роках Утіяма, Д. Іваненко, О. Бродський і Г. Соколик, а також Кібл, незадовго до появи 1954 року праць Янга і Міллса, побудували загальну теорію калібрувальних груп Лоренца і почали розглядати калібрувальні підходи до групи Пуанкаре. Калібрувальні поля є одним з ключових понять сучасного уявлення про навколишній простір і речовину; вони забезпечують найменшу дію системи геометричних полів і структур, її незмінність, якщо можна сказати, у деякому сенсі стійкість цієї системи при невеликих відхиленнях геометрії простору (який може змінювати свої властивості, у деякому сенсі стійкість цієї системи при невеликих відхиленнях геометрії простору (яке може змінювати свої властивості, наприклад, переходячи від звичайного плоского простору Евкліда до викривленого – Лобачевського чи Рімана – або до простору з нецілою розмірністю). Калібрувальне трактування продовжують широко обговорювати, займаючи нині, чи не провідні позиції за кількістю опублікованих праць у галузі теоретичної фізики. У цих дослідженнях, біля витоків яких стояв Дмитро Іваненко, нині активно беруть участь не лише десятки тисяч фізиків і математиків усього світу, а й значно ширше коло дослідників найрізноманітніших напрямів.

родському університеті. Конференції припали саме на той період, коли ці галузі теоретичної фізики розвивалися особливо плідно: між відкриттям рівнянь Янга-Міллса та гіпотезою кварків. Науковець був також організатором та головою оргкомітету перших теоретичних конференцій у Харкові.

Пригадуючи наукові праці цього видатного фізика-теоретика ХХ сторіччя, слід почати з найважливішого. Коли з'явилися праці Н. Бора та інших науковців про будову атома, актуальним стало питання вивчення будови самого атомного ядра, яке утруднювалося незбіжністю зарядового числа ( $Z$ ) та масового числа ( $A$ ). Усі намагання побудувати щось розумне з єдиної відомої на той час двох елементарних частинок – електронів та протонів – були марні.

Справа зрушилася, коли Дж. Чедвік 1932 року відкрив нейтрон – нейтральну частинку з масою, яка приблизно дорівнювала масі протона. Тоді ж Д. Іваненко запропонував свою протонно-нейтронну модель атомного ядра, загально прийняту і досі. Він з І. Таммом розвинув і першу теорію ядерних сил, що утримують вкупі частинки в ядрі. У ній уперше було враховано головне: обмінний характер ядерних сил та явище їхнього насичення (на відміну від електромагнетних).



Варто зазначити і досить цікаві деталі історії появи спінового нелінійного рівняння Іваненка 1938 року, які він описав у вступній статті до збірника, присвяченого 200-річчю Лобачевського (Москва, „Белка”, 1993). До досліджень нелінійності у 1950-х роках долучився Гайзенберг, який за участі Паулі, Дюрра та Ямадзакі почав розвивати модель Іваненка (рівняння Іваненка-Гайзенберга), назвав варіант 1938 року *попередником* своєї моделі. Як відомо, Гайзенберг присвятив своєму варіантові всі останні роки своєї праці.

Дмитро Іваненко написав понад 400 наукових праць високого рівня в різних галузях науки: від математичної фізики до біології, філософії, історії науки і геології. Його спільна праця з М. Сагітовим, в якій було розглянуто проблему збільшення доби і передбачено існування розколу, який протягається від Таймира до Байкалу, виходячи з гіпотези про розширення Землі і зміни гравітаційної сталої з часом, мала широкий резонанс.

Під час роботи завідувачем кафедри фізики у Московській сільськогосподарській академії імені Тімірязєва (1944–1948) Д. Іваненко заснував біологічний семінар і біофізичну лабораторію, особливу увагу приділяв використанню „мічених” атомів. На той час під керівництвом Д. Іваненко проводились дослідження з опромінення рослин ізотопами, які йому спеціально допомагав виготовляти Ігор Курчатів. Згодом ці дослідження пере-

росли в окремий науковий напрям, пов’язаний із застосуванням атомної фізики у сільському господарстві.

Одна з останніх ідей Дмитра Дмитровича – гіпотеза про кристалоподібну будову Всесвіту. Пропонуючи розглядати Всесвіт як гігантський кристал, Д. Іваненко ґрунтувався на широкому спектрі експериментальних даних космології та астрофізики. Наукові ідеї професора Іваненко принесли йому всесвітнє визнання. Заслуги Дмитра Дмитровича визнані великими фізиками ХХ сторіччя. Серед науковців, які вважають себе послідовниками його ідей, – Гайзенберг, Паулі, Фермі, Юкава та інші. Ілля Пригожин у праці 1995 року, присвяченій пам’яті професора Іваненка, зазначав, що вважає за честь бути його учнем, згадує, як він навчався класичної і квантової теорії за монографіями Д. Іваненка.

В архіві Д. Іваненка є багато листів від Луї де Бройля, П. Дірака, В. Гайзенберга, Г. Юкави. У його робочому кабінеті збереглися написи, які власноручно зробили крейдою на дошках у цьому ж кабінеті на фізичному факультеті Московського державного університету знамениті фізики: „Фізичний закон має бути математичною красою” (Дірак, 1956); „Природа проста у своїй суті” (Юкава, 1959); „Протилежності не є суперечностями, але взаємно доповнюють один одного” (Нільс Бор, 1961); „Теорія одних частинок (без

---

Він перший помітив, що кванти одного поля можуть якимось взаємодіяти, чи то через поляризацію вакууму, чи то через пряму взаємодію типу зіштовхувань, та запропонував нелінійні хвильові рівняння, які згодом досліджував. На одному з таких рівнянь у 1950-ті роки В. Гайзенберг побудував свою модель єдиної теорії поля.

Вирішальні результати одержав Д. Іваненко в теорії так званого синхротронного випромінювання в бетатронах та подібних прискорювачах частинок, де електрони прискорюються в постійному електромагнетному полі та випромінюють електромагнетні хвилі (Державна премія СРСР, 1950).

Брав активну участь в організації Українського фізико-технічного інституту в Харкові. Належав до ініціативної групи, яка створювала журнал „Physikalische Zeitschrift der Sowiet Union”, що виходив у Харкові, був членом його редколегії.

Другу половину свого життя Д. Іваненко присвятив теорії тяжіння (гравітації) та вдосконаленню загальної теорії відносності. Зокрема – моделям метрик з так званим „закручуванням” та їхньої ролі в побудові Всесвіту.

Помер Дмитро Дмитрович Іваненко 30 грудня 1994 року.

**Олександр Боргардт**





урахування тяжіння) не може бути повною теорією частинок” (учень Бора Дж. А. Вілер); „Час передусє всьому існуючому” (І. Пригожін, 1987).

Багато зробив Дмитро Дмитрович для розвитку вітчизняної науки, представляючи на гідному рівні фізику великої країни. У вересні 1933 року з його та І. Курчатова ініціативи було організовано першу радянську конференцію з ядерної фізики. Також Д. Іваненко заснував провідний „ядерний семінар” у Ленінграді, на якому отримали підготовку багато фізиків, зокрема і сам І. Курчатов. Д. Іваненко був ініціатором створення Радянської гравітаційної комісії та організатором першої і подальших конференцій з проблем тяжіння; він був активним членом редколегії низки радянських і міжнародних наукових журналів; за його пропозицією в Томську було побудовано перший Радянський прискорювач електронів (з енергією 1 GeV).

Д. Іваненко завжди надавав великої ваги співробітництву з науковцями із різних міст, регіонів і республік СРСР. На той час віддалені дослідницькі центри не мали належних умов для праці, які були створені в Москві. І це було вигідно тодішнім впливовим академічним колам, адже так вони захищені від сильнішої конкуренції. Але не з Москви вийшли Лобачевський, Ломоносов, Корольов, Ціолковський і ще низка талановитих учених. Дмитро Дмитрович, незважаючи на велику

притидію, допомагав периферійним науковим організаціям: сам керував навчанням молоді, організовував всесоюзні конференції і семінари, на яких учені обмінювались досвідом. Д. Іваненко сприяв розвитку науки в Грузії (його учень Міріанашвілі був президентом Академії наук Грузії), в Україні, Білорусії, Узбекистані, Вірменії та інших республік, а також у багатьох містах Російської федерації. У Томську він заснував центр теоретичної фізики, який став потужним науковим центром міжнародного рівня; в Пермі допоміг створити кафедру теоретичної фізики в університеті. У Харкові від 1932 року почав випускати науковий журнал „Zeitschrift Physikalische der Sovjet Union”, який за декілька років, 1938 року, на жаль, заборонили за звинуваченням в ідеалізмі. Із сторінок цього журналу багато талановитих науковців мали змогу знайомити зі своїми досягненнями світову наукову громадськість.

Для Дмитра Дмитровича, піонера і патріота вітчизняних досліджень, завжди було важливим адекватне ставлення до надмірного схиляння перед західною наукою. Однак Д. Іваненко послідовно вважав, що потрібно враховувати і використовувати багатий і цінний іноземний досвід. Упродовж свого життя Д. Іваненко активно сприяв вихованню у людях почуття патріотизму, гордості за свою батьківщину і вітчизняну науку. Він ви-

#### Оглядова довідка по справі Іваненка, арх. 86368

Складена в зв'язку з перевіркою справи зі звинувачення Шубникова, Розенкевича і Горського. Іваненко Дмитро Дмитрович, 1904 року народження, син дворянина, безпартійний, громадянин СРСР, колишній науковий працівник Ленінградського фізико-технічного інституту, заарештований 27 лютого 1935 р. органами НКВС у м. Ленінграді.

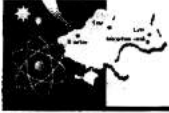
Що стало підставою до арешту Іваненка із справи не видно. Звинувачення під час слідства його не пред'явили. Допитували, загалом, про його знайомих, які проживали в СРСР та за кордоном з числа відомих спеціалістів-фізиків. Про будь-яку контрреволюційну діяльність свою чи інших осіб, Іваненко свідчень не давав. Навпаки, він пояснював, що вважає себе прихильним до „радянської влади і який чесно працює над розвитком радянської фізики”.

Інших доказів у справі немає.

4 березня 1935 року Іваненка рішенням Особливої наради при НКВС СРСР був засуджений „як соціально небезпечний елемент” до 3-х років виправно-трудоих таборів.

30 грудня 1935 року названа постанова Особливої наради при НКВС була змінена й Іваненка на решту терміну заслали у м. Томськ.

Кобцов 10.07.56 р.



давав книжки про М. В. Ломоносова, М. І. Лобачевського, М. Е. Жуковського, Д. І. Менделєєва, М. В. Остроградського, М. О. Умова, С. О. Чаплигіна, О. М. Ляпунова, В. І. Вернадського, В. О. Стеклова, О. М. Крилова. З ініціативи та з участю Д. Іваненко вийшли з друку книжки „Люди російської науки. Нариси про видатних діячів природознавців і техніки” (1948), а також „Нариси з історії фізики в Росії” (1949). Водночас саме Д. Іваненко організував випуск найважливіших праць класиків світової науки, серед них Гайзенберга, Шредингера, Дірака, Лоренца, Пуанкаре.

Завдяки працям Дмитра Дмитровича багато важливих досягнень фундаментальної наукової думки ХХ сторіччя не минули нашої країни, вони мали значний вплив на наукові дослідження. В результаті довгого шляху технічних, технологічних, експериментальних, теоретичних досягнень і відкриттів, зусиллями праці багатьох сотень тисяч людей, видатних конструкторів, дослідників, науковців, мислителів цього сторіччя було зроблено революційний поворот у науці, який започаткував радикальне перетворення уявлень про навколишній світ.

Ось що писав з цього приводу Дмитро Дмитрович 1988 року „Вперше в багаторічній історії фізики створення об’єднаної картини всіх основних категорій реальності ... виявилось не просто метою. Звичайно, так чи інакше кожній епосі відповідає своє розуміння основних категорій, але мова йде не про просте перечислення, а значною мірою незалежно один від одного, а про фундаментальне об’єднання, приблизно так, як ... вима-

галось і вдалось об’єднати звичайний простір і час в єдиний чотиривимірний псевдоевклідовий простір”. „Сьогодні створення такої картини – реальна й актуальна проблема, без розв’язання якої фізична наука не може просуватися далі”.

**А. В. Баутін,**

*канд. техн. наук, доцент, випускник фізичного факультету Московського державного університету (1962)*

**І. С. Головін,**

*д-р. техн. наук, професор Російського науково-дослідного інституту неорганічних матеріалів*

**Я. П. Докучась,**

*д-р. техн. наук, професор Ярославського державного університету*

**В. С. Євдокімов,**

*д-р. фізико-математичних наук, професор, випускник Московського фізико-технічного інституту*

**В. Ю. Колосков,**

*канд. фіз.-мат. наук, завідувач сектору досліджень простору, випускник фізичного факультету Московського державного університету (1984)*

**М. С. Лідоренко,**

*д-р. технічних наук, чл.-кор. Російської академії наук*

**В. Ф. Попов,**

*д-р. фіз.-мат. наук, професор Пермського державного університету*

**А. А. Рухадзе,**

*д-р. фіз.-мат. наук, професор, завідувач теоретичного відділу*

\* Матеріали до друку подав д-р фіз.-мат. наук Юрій Ранюк. У м. Полтаві, на батьківщині Дмитра Іваненка, у липні 2004 року, відбулося святкування, присвячене 100-річчю від дня народження видатного фізика.

## Нобелівські лавреати з фізики за 2004 рік

*Нобелівськими лавреатами з фізики 2004 року стали американці Девід Гросс (David J. Gross), Девід Політцер (H. David Politzer) і Френк Вілчек (Frank Wilczek) за „відкриття асимптотичної свободи в теорії сильних взаємодій”.*

*„Відкриття Девіда Гросса, Девіда Політцера і Френка Вілчека наблизило фізику на один крок до здійснення великої мрії – сформулювати універсальну теорію гравітації”, – зазначено в обґрунтуванні Нобелівського комітету.*



# Ленард – Нобелівський лавреат 1905 року та антипод Айнштайна

**Олександр Проскура**

*кандидат фізико-математичних наук  
(Берлін, Німеччина)*

Німецький фізик Філіпп Ленард (Philipp Lenard, 07.06.1862–20.05.1947) був видатним експериментатором. За дослідження катодних променів його 1905 року нагородили Нобелівською премією. Він був близький до відкриття Х-променів перед Рентгеном та електрона перед Томсоном. Його модель „порожнього” атома передувала атомній моделі за Резерфордом. На результати досліджень Ленардом зовнішнього фотоелектричного ефекту спирався, обґрунтовуючи свою гіпотезу світлових квантів, Айнштайн, який назвав Ленарда справжнім генієм.

Однак позанаукова діяльність Ленарда зіпсувала його репутацію. Річ у тім, що після поразки Німеччини в Першій світовій війні та спаду своєї наукової творчості, Ленард і Штарк задекларували свою прихильність до націонал-соціалістичної ідеології. Одним з трагічних наслідків цієї злочинної ідеології, яка панувала в Німеччині впродовж 1933–1945 років і яка привела світ до війни, був Голокост. Ленард же через свою політичну обмеженість та затуляту боротьбу за відмежування „німецької прагматичної фізики” від „єврейської догматичної фізики”, а також через категоричне заперечення айнштайнової загальної теорії відносності залишається в пам’яті фанатичним антисемітом.

Ф. Ленард народився 7 червня 1862 року в місті Прессбурзі (нині Братіслава) у римо-католицькій сім’ї виноторговця Філіппа Ленардіса (Philipp Nerius L. v. Lenardis, 1812–1896) та його дружини Антоні, у дівоцтві Бауман (Antonie Baumann, 1831–1865). Рід Ленардів походив з Тіроля. Ленардам 1600 року під Іннсбруком належав маєток, 1722 року родові було надано спадкове австрійське дворянство, від афішування якого нащадки відмовились наприкінці XIX сторіччя.



*Філіпп Ленард  
(07.06.1862–20.05.1947)*

До дев’ятирічного віку Ленард навчався приватно. Від 1871 року він відвідував школу при кафедральному соборі. Хлопець також навчався у німецькій та угорській школах. Заняття з фізики та хемії в реальній школі Ленард згодом назвав оазою серед пустелі.

Шкільний учитель Клатт (Virgil Klatt) залучив допитливого учня до фізичних дослідів, і вони разом експериментували з люмінофорами. Результати їхніх спільних досліджень публікувались впродовж 1889–1904 років. Наукове зацікавлення виготовленням люмінесцентних матеріалів та природою їхнього світіння, було закладено в Ленарда ще в школі й збереглося у нього впродовж сорока років. А 1928 року вийшла книжка Ленарда „Фосфоресценція та флюоресценція” у співавторстві з Ф. Шмідтом (Ferdinand Schmidt) і Р. Томашеком



(Rudolf Tomaschek, 1895–1966). Згодом з'явилось навіть поняття ленардових люмінофорів стосовно кристалофосфорів на базі сполук  $A_2B_6$ , для яких Ленард також розробив засадничі уявлення про центри свічення та механізм випромінювальної рекомбінації. Ці перші уявлення про точкові дефекти в реальних кристалах та про механізм люмінесценції в них були важливими для становлення фізики твердого стану.

Університетське навчання Ленард розпочав 1880 року. Природничі науки і математику він спершу вивчав у високих технічних школах Будапешта та Відня. Ф. Ленард 1883 року здійснив велику поїздку Німеччиною з наміром обрати університет для продовження навчання і зупинив свій вибір на Берліні та Гайдельберзі, де на нього справив велике враження Р. Бунзен (Robert Wilhelm Bunsen, 1811–1899). До університетських учителів Ленарда належали видатні науковці: хемік Бунзен та фізики Г. Гельмгольц (Hermann von Helmholtz, 1821–1894) і Дж. Квінке (Georg Hermann Quincke, 1834–1924). Ленард закінчив своє навчання представленням 08.07.1886 р. на філософському факультеті Гайдельберзького університету дисертації „Про коливання крапель під час падіння”, яку він виконав під керівництвом Квінке. Тему дисертації йому запропонував Гельмгольц у Берліні. Ф. Ленард у дисертаційній роботі методом стробоскопії досліджував падіння окремих краплин рідини, які відривались від круглого отвору вертикальної капілярної трубки. У досліджах окрема краплина синхронно з періодичним відривом крапель від трубки освітлювалась спалахом електричного розряду. Завдяки зміні частоти спалахів можна було спостерігати зміну форми краплі залежно від фази її розвитку. Досліджувати поверхневий натяг рідини, Ленард неодноразово повертався до теми своєї дисертації, навіть за багато років після її успішного захисту. Ще коли Ленард працював над дисертацією, то продемонстрував неабияку експериментальну майстерність.

Захистивши дисертацію, Ф. Ленард до 1890 року працював у Квінке асистентом. За цей час він опублікував дві праці з люмінесценції й, зацікавившись катодними променями, намагався вивести їх із розрядної трубки назовні крізь кварцове віконце завтовшки 2,5 мм. Ці перші спроби виявились марними. Однак Ленард не залишив своїх

намірів. Згодом він за інших обставин виконав у межах проблеми катодних променів низку фундаментальних досліджень [1], відзначених Нобелівською премією.

Попрацювавши 1890 року кілька місяців у Лондоні, Ленард повернувся розчарований, і 1891 року почав працювати асистентом в університеті міста Бреслау, звідки невдовзі перейшов на асистентську посаду до Г. Герца (Heinrich Hertz, 1857–1894) у Боннському університеті, де пробув до 1894 року. Там він захистив докторську дисертацію „Über die Elektrizität der Wasserfälle”, якою розпочав низку публікацій про явище йонізації повітря під час розпилення води (ефект Ленарда).

Г. Герц розповів Ленардові про те, що 1892 року йому вдалось пропускати катодний промінь у розрядній трубці крізь фольгу з таких металів, як золото, срібло та алюміній. Герц, який звичайно працював усамітно, також показав Ленардові дослід з проникненням всередині трубки катодного променя крізь алюмінієву фольгу до загорнутого в неї уранового скельця та його свічення і запропонував продовжити ці дослідження й спробувати вивести промінь назовні. Ленард радо погодився, бо він ще 18-річним юнаком був зачарований доповіддю В. Крукса (Sir William Crookes, 1832–1919) про розрядні явища в газах, зачитаною 22.08.1879 року в Шеффільді. Доповідь Крукса вийшла брошурою 1879 року німецькою мовою. Ленард придбав її у книгарні дорогою зі школи. Ця доповідь визначила головне наукове зацікавлення Ленарда, і він почав експериментувати з розрядними трубками ще в шкільному фізичному кабінеті під час вакацій.

Основні зусилля Ленарда в Бонні були скеровані на дослідження катодних променів, які відкрив Ю. Плюкер (Julius Plucker, 1801–1868) 1859 року. На зорі дослідження природи катодних променів німецькі дослідники переважно пов'язували їх із поширенням хвиль в ефірі, тоді як англійці – з рухом частинок. Завдяки дослідом з відхилення катодних променів у магнетному полі, які вперше 1869 року виконав В. Гітторф (Wilhelm Hittorf, 1824–1914) і які продовжили багато інших дослідників, зокрема 1895 року Дж. Перрен (Jean-Baptiste Perrin, 1870–1942) і у 1894–1897 роках Дж. Томсон (Sir Joseph John Thomson, 1856–1940), стало відомо, що катодні промені – це потік швид-



ких негативно заряджених частинок з масою, яка на декілька порядків величини менша від маси йонів водню. Історичні назви цих частинок були різні: корпускули, електріони, кванти. За пропозицією Дж. Стонея (George Johnstone Stoney, 1826–1911), який 1874 року назвав природну одиницю електрики електроном, ці частинки після 1892 року стали називати електронами. Існування електрона остаточно довів 1897 року Томсон. Отже, катодний промінь – це потік швидких вільних електронів.

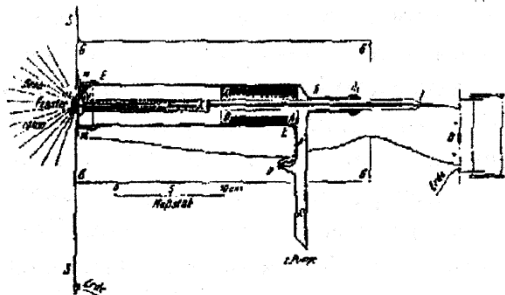
Ленард для власних досліджень катодних променів розробив за ідеєю Герца 1892 року оригінальну розрядну трубку з маленьким прозорим для електронів віконцем, яку було виготовлено з тонкої металевої фольги завтовшки менше ніж 0,02 мм (вікно Ленарда). Крізь це вікно Ленард скеровував катодні промені, вивільнені з розрядної трубки, в інше досліджуване середовище. Для візуалізації променів ззовні трубки навпроти віконця було поміщено екран із шаром катодолюмінесцентних мікрокристаліків, які світилися під час бомбування їх електронами, або папірець з органічною речовиною пентадецилпаратолілікетон. Промені можна було також фотографувати. Оригінальна трубка дала змогу Ленардові розпочати перші дослідження поведінки потоку електронів у просторі поза розрядною трубкою, де були вакуум, повітря чи якась інша, призначена для досліджень речовина. Уже перші досліді Ленарда з проходження катодних променів крізь віконце засвідчували, що частки, з яких складались катодні промені, значно менші від атомів. Такий висновок дав змогу Ленардові оцінити катодний промінь як ефективний засіб для

вивчення будови матерії. Тому науковець розпочав 1894 року досліджувати поглинання речовиною катодних променів певної швидкості.

Ф. Ленард також встановив, що промені після виходу з розрядної трубки крізь металеву фольгу і проникнення до іншої трубки з високим вакуумом не впливають на вакуум у ній. Цим Ленард заперечив попередні висновки англійських дослідників про катодний промінь як потік йонів і заявив, маючи на увазі „електричні кванти”, що він відкрив електрику.

Попри наукові успіхи Ленард був змушений зробити перерву в дослідженнях через переїзд 1894 року до міста Бреслау, де відкрилась вакансія професора теоретичної фізики. Того ж 1894 року він опрацював рукописи Герца, який передчасно помер, і видав друком зібрання його праць, зокрема „Принципи механіки”, висловивши в передмові глибоку повагу до свого великого вчителя.

Пробувши в Бреслау лише рік і переконавшись, що тут він не матиме можливостей провадити експериментальні дослідження, Ленард 1895 року переїхав до Вюльнера (Friedrich Hugo Anton Wullner, 1835–1908) в Аахен працювати асистентом у Технічній Високій Школі, де відновив дослідження катодних променів. Зважмо, що це була нижча посада. Утім цей перехід свідчить про його відданість експериментальній фізиці. Проте за час перерви в дослідіх Ленарда його ймовірний шанс, як він сам уважав, зробити епохальне наукове відкриття, було втрачено. Ленардові було дуже гірко дізнатись на початку січня 1896 року, що не він, а В. Рентген (Wilhelm Conrad Rontgen, 1845–1923) зробив це відкриття, помітивши 8 листопада 1895 року новий вид променів і повідомивши про нього вже 28 грудня 1895 року, Рентген своїм відкриттям випередив Ленарда, який міг би наблизитися до того ж результату зі своїми дослідіми над катодними променями, якби не деякі „але”. У „Спогадах” [2] 1943 року Ленард наголосив на тому, що це був перший випадок, коли його випередили в дослідіженнях. Для аналізу ситуації треба також зважати на те, що Ленард був переконаний у тому, що рентгенові промені є високоенергетичними катодними променями і мають спільну природу. Цей погляд Ленард висловив 1896 року на конференції британських фізиків, на що звернув увагу



Схематичне зображення трубки Ленарда в публікації 1894 року. Рисунок Ленарда.



голова зборів Томсон і нагадав про виконанні 1895 року досліди Перрена, якими було доведено, що катодні промені переносять негативний електричний заряд, і додав, що рентгенівські промені, на відміну від катодних, не мають такої властивості. Ф. Ленардові було прикро, що В. Рентген не згадував про Ленардове сприяння йому через склотехніка Л. Мюлера (Louis Muller-Unkel, 1853–1938) з розрядною трубкою для експериментів, хоча і рукопис, і текст першого повідомлення Рентгена 28.12.1895 р. відкриваються посиланням на попередників: „Якщо через вакуумну трубку Гітторфа або достатньо евакуйову трубку Ленарда, Крукса чи подібний пристрій пропустити розряд...”. Зауважмо, що „подібним пристроєм” у Рентгена могла бути також і трубка галичанина Івана Пулюя (Johann Puluj, 1845–1918), який в Австро-Угорщині працював із катодними променями від 1881 року і мав змогу випередити Рентгена з його відкриттям. Під час урочистого відзначення 150-річного ювілею Івана Пулюя в Києві його онук розповів, що Пулюй схопився за голову, дізнавшись про відкриття Рентгена, і кружляв по кімнаті, примовляючи: „О мої лампи, мої лампи”, та згодом повернувся до дослідів із рентгенівським промінням. Маючи достатній експериментальний матеріал, І. Пулюй вже 15.02.1896 р. у Празі прочитав лекцію про X-промені й продемонстрував якісними рентгенознімками можливість променів візуалізувати невидимі для ока об’єкти. Є. Сверстюк під час згаданих святкувань у Києві зауважив, що з-поміж українців саме І. Пулюй найбільше наближався до Нобелівської премії.

Ф. Ленард не позбувся, однак, гіркого розчарування від втрати пріоритету, тим паче, що були пропозиції історично першою премією Нобеля (Alfred Bernhard Nobel, 1833–1896) нагородити разом Рентгена і Ленарда, а декілька нагород за їхні наукові заслуги було дано їм порівну. Ленард переніс свою злість на Рентгена і на початку своєї Нобелівської лекції 28.05.1906 р., натякаючи на Рентгена, сказав про себе, що він належить не до тих, хто зриває стиглі плоди, а до тих, які плекають сад. Однак далі в лекції прямо заявив про випадковість Рентгенового відкриття [1]. У своїх „Спогадах” Ленард уже на схилі віку порівнював свій стан після втраченого відкриття зі станом матері-породіллі, у якої забрано дитину ще до то-

го, як вона її побачила. Хоча в Ленарда було багато високих наукових нагород, наприклад, медаль Румфорда від Королівського Товариства (1896), Нобелівська премія (1905), однак впродовж всього життя він уважав себе обійденим пошаною за наукові досягнення.

З причини глибокого зацікавлення до будови матерії Ленард дослідив 1900 року поглинання речовиною катодних променів з різними швидкостями [3–4]. Як наслідок 1903 року він представив новий погляд на будову атома. Щоб можна було надійно встановити зв’язок між поглинанням катодних променів і значенням густини речовини, Ленард відібрав для дослідів речовини зі зміною густини проб на сім порядків за величиною: від розрідженого водню – до масивного золота. Використовувались катодні промені різних швидкостей і різного походження, серед них і випромінені ядрами *b*-частинки. Результатом вимірювання поглинання стало відкриття закономірності: коефіцієнт поглинання зростає пропорційно до густини речовини і не залежить від агрегатного стану речовини та її хемічних властивостей. Похибка вимірювань, які виконав Ленард у широкому діапазоні величин, не перевищувала 10%, що свідчить про високу культуру експерименту. Виходячи із закону поглинання, який сам і відкрив, Ленард припустив, що різні атоми містять однакові складові в різних кількостях. Ленард для назви цих складових використав термін „динамід” і запропонував динамічну модель „порожнього” атома, в якому динамідам належить дуже мала частина об’єму. За оцінкою Ленарда ця величина менша від  $10^{-9}$  об’єму атома.

Для пояснення поглинання і розсіяння катодних променів Ленард припустив, що на рух електронів, які налітають на атоми, діють внутрішньоатомні електричні та магнетні поля. Ці поля створюються гіпотетичними динамідами. Гіпотезу про динамід в атомі раніше від Ленарда використав 1857 року Я. Редтенбахер (Jacob Ferdinand Redtenbacher, 1809–1863). Динамід („eine Dynamide”) у Ленарда був елементарний диполь з довжиною плеча менше ніж  $3 \cdot 10^{-11}$  см. Стабільність диполя мала б бути забезпечена його швидким обертанням із частотою  $10^{20}$  обертів за секунду. При такій частоті досягається рівновага між силою електростатичного притягання, яка



існує між двома зарядами диполя (негативним та позитивним „квантами”), та відцентровою силою. Порушення балансу сил у динамідах могло б підтверджуватись виникненням негативних „квантів” – вільних електронів поза атомами при перебігу явищ радіоактивності та зовнішнього фотоелектричного ефекту, при яких справді спостерігається емісія електронів. На думку Ленарда, явищами емісії електронів підтверджувались його погляди про будову атома.

Ленард, відійшовши від античної ідеї Демокріта про суцільний атом, першим на підставі власних експериментів прийшов до моделі „порожнього” атома, різні варіанти якої на гіпотетичній основі вже обговорювались його сучасниками. Ленард, безсумнівно, був одним з піонерів сучасної атомної фізики [5-6]. Важливим для історії атомної фізики залишається те, що відкриття Ленардом 1903 року „порожнього” атома, – атом менш як на мільярдну долю об’єму заповнений матерією, – спиралось на реальний експеримент, а не було лише припущенням. Носії катодних променів (називав „частинки”, „електричні кванти”) він використав в експериментах для вивчення внутрішньої будови атома, тобто Ленард започаткував дослідницькі методи бомбування частинками. Ці методи знайшли своє втілення, зокрема, в потужній техніці для вивчення фізики елементарних частинок.

Однак Ленард, як і багато інших німецьких науковців його покоління, що надавали перевагу експериментальним дослідженням, не віддавав належного математиці та наочності під час викладу результатів, щоб представити виконані дослідження з поглинання закінченими та переконливішими. До того ж, динамічна модель атома за Ленардом не враховувала результатів спектроскопічних досліджень та хемічних властивостей атомів. З уваги на історичні умовності, її не могли прийняти англійські фізики через її німецьке походження [7]. Модель атома „пудинг з родзинками” за Томсоном, починаючи від 1904 року, ставала дуже популярною в Європі. В усякому разі так склалось, що Е. Резерфорд (Sir Ernest Rutherford, 1871–1937), який 7 березня 1911 року, по суті, підтвердив ядерну модель атома в термінах, відмінних від Ленардових, водночас цілком зігнував результати свого попередника – лавреата

Нобелівської премії 1905 року, чії роботи, безсумнівно, були відомі сучасникам. Про пріоритет Ленарда одним з перших ствердно висловився 1919 року А. Зоммерфельд (Arnold Sommerfeld, 1868–1951), нагадавши в монографії „Будова атома і спектральні лінії”, що просто впадає у вічі те, наскільки спосіб представлення моделі, яку розвинув Ленард 1903 року, збігається з ядерною моделлю атома, побудованою Резерфордом на зовсім інших відмінних від Ленардових фактах, і що „для перекладу результатів Ленарда на загальноприйнятну мову потрібно лише замість слова „динамід” вимовляти – „ядро” та замість „кількості динамідів у атомі” – „заряд ядра”. Модель атома, за Ленардом, здавалась деяким дослідникам настільки важливою для пізнання матерії, що, наприклад, у праці [8] до 50-річчя захисту Ленардом дисертації та, отже, ювілею його наукової діяльності мовилось переважно про цю модель як про вирішальне відкриття на шляху пізнання природи. Наполягаючи на своєму пріоритеті, Ленард 1944 року в збірнику [9] своїх праць у передмові до передрукованої статті [4] про поглинання катодних променів різних швидкостей зауважив, що Резерфорд вісім 8 років після нього був першим, хто одержав нові знання про структуру атома і що суттєвим внеском Резерфорда був висновок про об’єднання всіх позитивних квантів атома в атомному ядрі. Ленард наголосив, що Резерфорд одержав свої результати в дослідях з  $\alpha$ -частинками, які пронизують атом подібно до катодних променів, якими користувався Ленард, і одержав з  $\alpha$ -частинками аналогічну інформацію. Однак для подальшого розвитку атомної фізики з усіх моделей атома найбільше прислужилась модель Резерфорда з маленьким, масивним і позитивно зарядженим ядром у центрі атома. Нею зацікавився Н. Бор (Niels Bohr, 1885–1962), який в 1911–1912 роках декілька місяців вчився в Резерфорда і трансформував 1913 року його модель у планетарну модель атома. Тому навчальні посібники традиційно запевнюють читачів, що адекватна модель атома розпочинається від Резерфорда, який прострілював електронами не алюмінієву фольгу, як то раніше від нього робив Ленард, а пронизував  $\alpha$ -частинками золоту фольгу.

Ф. Ленард 1896 року почав працювати професором Гайдельберзького університету, а 1898 ро-

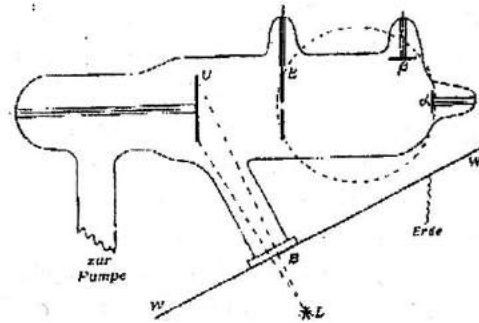


ку очолив університетську кафедру в Кілі, де дослідив йонізуючу дію ультрафіолетового проміння на повітря (ефект Ленарда) та продовжив експерименти із катодними променями. Там же він був завантажений будівництвом нового фізичного інституту при університеті. Досліджуючи природу катодних променів, Ленард 1898 року зрозумів, що він фактично працював з потоком негативно заряджених частинок. Ленард вирахував для цих частинок чисельне значення питомого електричного заряду, тобто відношення заряду частинки до її маси.

Загиблюючись у дослідження властивостей катодних променів і маючи намір одержувати промені з різними швидкостями частинок, щоб вивчити їхнє поглинання, Ленард перейшов до вивчення того роду катодних променів, які виникали при дії ультрафіолетової радіації на катод розрядної трубки. Так Ленард розпочав дослідження зовнішнього фотоелектричного ефекту, який відкрив Герц 1887 року в місті Карлсруе. Цей ефект полягає у звільненні електронів з речовини під дією світла. Під впливом праць Столетова (Александр Столетов, 1839–1896) звичайно при його дослідженні контролюється фотострум. Для Ленарда дослідження фотоелектричного ефекту було допоміжним засобом під час вивчення будови атома.

Впливаючи на фотострум магнетним полем, Ленард, незалежно від англійського дослідника Томсона і дещо згодом від нього, наблизився до принципово важливого висновку про те, що потік носіїв фотоструму поводить себе аналогічно до катодних променів і є потоком негативно заряджених частинок – електронів. Ленард першим зробив важливе відкриття: кінетична енергія електронів, звільнених із металу при його освітленні, не залежить від величини освітленості металевого фотокатода. Він показав залежність кінетичної енергії цих фотоелектронів від довжини хвилі світла [10, 11]. Від нього почалось вимірювання енергії в одиницях „eV” (електрон-Вольт).

Саме на результати Ленардових експериментальних досліджень зовнішнього фотоелектричного ефекту спирався А. Айнштайн (Albert Einstein, 1879–1955) у своїй теоретичній праці про світлові кванти [12]. Ця перша публікація Айнштайна з'явилась друком 1905 року. Завдяки цій та іншим двом публікаціям Айнштайна в 17-му



*Схематичне зображення трубки Ленарда для дослідження зовнішнього фотоелектричного ефекту. Публікація 1900 року.*

томі журналу „Annalen der Physik” 1905 рік в історії фізики називають незвичайним роком–„Annus mirabilis”. саме тому 2005 рік відзначатимуть як ювілейний. Розвиваючи ідею М. Планка (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1857–1947) про квантування енергії осцилятора, Айнштайн запропонував квантову інтерпретацію зовнішнього фотоелектричного ефекту. Рік появи цієї публікації Айнштайна деякі дослідники пропонують вважати роком виникнення квантової теорії. Досліди Ленарда стали експериментальним підґрунтям квантової теорії. Вони докладно проаналізовані [13].

Пояснення зовнішнього фотоелектричного ефекту Ленардом корелювало з його зацікавленням будовою атома, яка тоді ставала центральною фізичною проблемою, та природою центрів свічення при фосфоресценції кристалофосфорів. На відміну від Айнштайна, він не міг припустити, що при зовнішньому фотоелектричному ефекті поглинута тілом енергія світлового кванта може перетворюватись у кінетичну енергію електрона. За його уявленнями, світло мало б збуджувати атоми і відокремлювати від них електрони. Швидкості звільнених з атома електронів мали б залежати від того стану, у якому атоми перебували при резонансній дії світла на них. Тому Ленард у листі до Айнштайна 5 червня 1909 року щодо розбіжностей, у їхньому розумінні, походження швидкостей фотоелектронів і природи ефекту зауважив, що вони обидва в певному сенсі мають рацію, тобто Ленард не погодився з квантовою інтерпретацією Айнштайна. Однак подальші експериментальні дослідження фотоелектричного ефекту, які виконав, зокрема, Р. Міллікен (Robert Andrews Millikan, 1868–1953) під впливом





праць Ленарда, підтвердили гіпотезу Айнштейна про світлові кванти та про передбачену ним лінійну залежність кінетичної енергії фотоелектронів від частоти світлових квантів.

Айнштейн назвав Ленарда „великим майстром, оригінальною головою” (недатований лист 1908 року) і „справжнім генієм” (лист від 16.03.1910 р.). Ленард, за спогадами свого асистента Лауба (Jakob Johan Laub, 1882–1962), який товаришував з Айнштейном і був його співавтором, теж високо цінував Айнштейна за його теоретичне дослідження фотоэффекту. У цей період Ленард також сприймав спеціальну теорію відносності Айнштейна. Ленард у листі до Айнштейна на 05.06.1909 р. назвав свого адресата глибоким і змістовним мислителем, а 1913 року в листі до Зоммерфельда повідомив про свій намір організувати для Айнштейна кафедру теоретичної фізики при Гайдельберзькому університеті [14].

Однак після 1910 року між Ленардом та Айнштейном виникло тертя через розгортання й загострення дискусії про ефір, гравітацію та айнштейнівську загальну теорію відносності. Теорія привернула до себе загальну увагу громадськості: кожен хотів дізнатись, що означала теорія Айнштейна. На побутовому рівні було відомо лише те, що вона радикально відкинула звичні уявлення про час і простір. Нова теорія виявилась надзвичайно важкою і для фахівців. У численних суперечках „за” і „проти” теорії відносності в умовах напруженої політичної ситуації в державі, що зазнала поразки у війні та прагнула підтримати свій престиж високим рівнем розитку науки, неабияку роль відіграло єврейське походження автора теорії відносності, якому закидали його послідовну та активну демократично-пацифістську позицію [15]. На перебіг конфронтації Ленарда та Айнштейна варто звернути особливу увагу, бо їхня полеміка відображала кардинальні зміни наукового та суспільно-політичного мислення напередодні епохи тоталітаризму.

Між Ленардом і Айнштейном ця наукова дискусія про теорію відносності спершу велась коректно, через публікації. Однак про співіснування старого і нового наукових світоглядів не могло бути мови. Між Ленардом й Айнштейном стався розрив. Остаточний розрив був спричинений не так науковою конфронтацією, як скандалом нав-

коло теорії Айнштейна та його особи, що розгорівся в серпні 1920 року [15]. Річ у тім, що зовсім невідомий науковцю Вейланд (Paul Weyland, 1888–1972) під час першої хвилі цькування Айнштейна організував так звану „Робочу громаду німецьких природодослідників на захист чистої науки”, яка 24 серпня 1920 року розпочала в найпросторішому в місті приміщенні, великій залі Берлінської філармонії, цикл лекцій проти теорії відносності та її автора. Цей захід проти теорії відносності був політичною антисемітською акцією. Частина прізвищ доповідачів була вписана до програми циклу без погодження з ними. Серед них був і Ленард.

Цикл було відкрито доповіддю Р. Вейланда, який звинуватив Айнштейна в „рекламоманії” та „плагіаті”. Присутні в залі Нобелівські лавреати В. Нернст (Walther Nernst, 1864–1944), М. Лауе (Max von Laue, 1879–1960) та інші фізики помітили, як на це болісно усміхався скривджуваний Айнштейн. Допидач на вимогу публіки перейти до суті справи звернувся до теорії відносності, яка для нього виявилась не чим іншим, як навіюванням мас, продуктом духовно заплутаного й збентеженого часу, та піднісся до демагогічної заяви – „Ця теорія є науковий дадаїзм”. Під враженням від відкриття горезвісного циклу Айнштейн 27.08.1920 р. надрукував у газеті „Berliner Tageblatt” свою репліку під іронічною назвою „Моя відповідь. Про антирелятивістсько-теоретичне Товариство з обмеженою відповідальністю”, у якому на адресу Ленарда зауважив, що серед фізиків міжнародного значення лише один Ленард висловився як противник теорії відносності, та що хоча Айнштейн в захопленні від Ленарда як майстра експериментальної фізики, але оскільки Ленард нічого не зробив у теоретичній фізиці, то його заперечення проти загальної теорії відносності настільки поверхові, що Айнштейн раніше не вважав за потрібне докладно аналізувати їх. Після такої „Відповіді” Ленард глибоко образився на Айнштейна за персональний випад, а Вейланда титулював аферистом.

Спроби Зоммерфельда, голови Німецького фізичного товариства, схилити Айнштейна до публічного вибачення і запобігти небажаному розвитку подій не мали успіху. Айнштейн про спровокований конфлікт висловився в листі до Зом-



мерфельда 06.09.1920 р. так: „Цю статтю я, мабуть, не мав би писати”, а в листі до М. Борна (Max Born, 1882–1970) 09.09.1920 відповідно виклав сентенцію: „Кожен до вітваря дурості мусть час від часу приносити свою жертву... І я це ґрунтовно вчинив з моєю статтею”. У зацькованого Айнштайна в цей час вперше виник намір емігрувати.

Невдовзі Ф. Ленард і А. Айнштайн вперше і востаннє зустрілись 24.09.1920 у Бад Наугаймі на щорічній конференції Німецького товариства природодослідників та Лікарів. Це була перша повоснна конференція цього Товариства. Вона була присвячена обговоренню теорії відносності. Конференція була представницькою, її проводили разом з Німецьким математичним товариством, Німецьке фізичне товариство і Товариство технічної фізики. Учасники конференції 23 і 24 вересня зачитали доповіді. Після нього відбулась загальна дискусія, стенограма якої опублікована [16]. Ця дискусія стала знаменитою завдяки діалогові Ленарда і Айнштайна, які розпочали полеміку з проблем ефіру та загальної теорії відносності. Ленард зазнав поразки. Дискусія деяким учасникам конференції нагадувала двобій [17], який ледве стримував з крейдяним від напруження обличчям Планк, що головував на засіданні. Водночас декому дискусія здавалась предметною і чемною.

Деталі конфронтації двох великих науковців, які волею долі стали антиподами в науці та суспільстві, стали предметом спеціальних досліджень 2000 року [18]. З'ясувалось, що відразу ж після дискусії в Бад Наугаймі багато присутніх на конференції фізиків, які відчули затверділу рішучість обох противників, намагались звільнити Ленарда з наукової ізоляції та примирити його з Айнштайном. Наприклад, Нернст, який 1914 року сприяв переїздові Айнштайна з Цюріха до Берліна і водночас перейнявся станом Ленарда, намагався заспокоїти Ленарда і зменшити його запал, обійняв його і втішав прислів'ям „Nos amis sont vos amis”. Лауе, до якого Ленард мав претензії, той підтримав Айнштайна, також намагався пом'якшити ситуацію і сказав Ленардові: „Айнштайн ще дитина!” На що почув холодну відповідь: „Діти не пишуть до газети „Berliner Tageblatt!”

Після цього Ленард рушив до виходу. Айнштайн пішов за ним і спробував умовити його повернутись. Ленард на це зауважив Айнштайнові: „Тепер уже пізно”, і вони залишили конференцію.

Наступного дня після закриття конференції, тобто 25.09.1920 р., газета „Berliner Tageblatt” помістила допис професорів Гімштедта і Планка. Вони писали про те, що професор Айнштайн уповноважив їх висловити його щирий жаль з приводу того, що він у цій же газеті 27.08.1920 р. скерував свої докори також проти Ленарда, чие прізвище, як стало відомо під час конференції в Бад Наугаймі, потрапило до списку доповідачів Вейланда без відома Ленарда. Проте така форма вибачення не влаштувала Ленарда, примирення стало неможливим, і Ленард почав вороже, однак поки що без антисемітських виявів, ставитись до Айнштайна та його теорії відносності. Він оскаржив перед Нобелівським комітетом присудження 1922 року Айнштайнові премії з фізики, виданої йому, як наголошено в ухвалі комітету, за „заслуги перед теоретичною фізикою” та особливо за „його відкриття закону фотоелектричного ефекту”. Відомий також протест Ленарда проти опублікування статті англійською мовою в науковому журналі Німецького фізичного товариства. Розлючений після конференції в Бад Наугаймі Ленард демонстративно вийшов зі складу Німецького фізичного товариства і заборонив його членам заходити до свого інститутського кабінету оголошенням, яке залишилось в історії як анекдот: „Mitglieder der sogenannten Deutschen Physikalischen Gesellschaft haben keinen Zutritt” (Члени так званого Німецького фізичного товариства входу не мають).

Гостра дискусія між Ленардом та Айнштайном у Бад Наугаймі була неминуча, бо вона була історично зумовлена. Вона проілюструвала революційне зіткнення між традиційною та новою категоріями наукового мислення. У цей час наукові суперечки щодо цього виникали і в інших місцях Європи. В історії фізики подібне вже траплялось і раніше зі зміною наукового світогляду, на що під час зіткнення поглядів у Бад Наугаймі зіслався Айнштайн, нагадавши як приклад дискусію між Галілеєм та послідовниками фізики Арістотеля.

Після непримиренної полеміки між Ленардом



і Айнштайном ідеологічна позиція та поведінка Ленарда, який 1919 року зацікавився політичною активністю Гітлера, набували расистського забарвлення. З перебігом часу теорію Айнштайна він називав не інакше, як „judische Physik” („єврейська фізика”). Що ж до Вейланда, то після свого переїзду з Німеччини до США він і там продовжував цькувати Айнштайна, який емігрував до США 1933 року, і доносив американській службі безпеки (FBI) 1953 року на Айнштайна як на закоренілого комуніста, заслуживши собі на славі найвидатнішого науковця ХХ сторіччя ім'я новітнього Герострата [19, 20].

Повернімось, однак, до наукової діяльності Ленарда на початку ХХ сторіччя. У місті Кіль Ленард досліджував іонізацію повітря ультрафіолетовим промінням (ефект Ленарда) і спектри випромінювання натрію в дуговому розряді. Він 1903 року помітив відмінності між спектральними серіями натрію, одержаними від різних ділянок електричної дуги, і на підставі цих фактів припустив, що атоми натрію можуть перебувати в різних станах, і що ця відмінність станів може виявлятися не лише у спектроскопії. Вивчаючи природу атома і досліджуючи полум'я в зовнішньому електричному полі, Ленард 1905 року повідомив про спричинений електричним полем зсув спектральних ліній [21]. Після важкої хвороби Ленард 1907 року перейшов до Гайдельберзького університету як наступник Югінке, очолив там кафедру і Фізичний інститут. Йому довірили будувати новий фізичний інститут, і він успішно це зробив. На прохання спонсора будівництва Р. Фляйшера (Richard Fleischer, 1849–1937), який пожертвував на будівництво 120000 марок, до назви інституту фізики було додано „і радіології”.

Ленард надавав великої ваги своїй викладацькій роботі. Про педагогічну діяльність Ленарда опублікував 1949 року свої враження його колега К. Рамзауер (Carl Wilhelm Ramsauer, 1879–1955). Традиційно університетські лекції Ленарда були насичені демонстраціями, які він сам успішно виконував. Читання лекцій Ленард вважав своїм високим моральним обов'язком і проводив їх дещо театральню. На лабораторних заняттях він звичайно переходив від столу до столу і працював зі студентами індивідуально. Найефективнішими в педагогічній роботі Ленарда були колоквиуми, на

яких він з великою майстерністю критично підсумовував зміст реферативних доповідей початківців. Однак у роботі з докторантами він не пробуджував у них самостійності, а вимагав чіткого виконання вказівок. Ленард вважав, що наукові досягнення його нового великого інституту мали б зростати пропорційно до розмірів та засобів, водночас він був розчарований його незначною ефективністю. Рамзауер, після перемоги над нацизмом, 1949 року зауважив, що черствість Ленарда була однією з причин того, що йому, незважаючи на його видатні властивості дослідника, не вдалось заснувати власної наукової школи [22]. Однак 1942 року за інших політичних умов про наукову школу Ленарда мовилось як про видатне явище. Очевидно, означення школи залежить від різних чинників, проте фактом залишається те, що деякі співавтори Ленарда, серед них і Рамзауер, стали видатними дослідниками. Той же Рамзауер також помітив, що Ленард, який відчував себе належним до Угорського королівства та тривалий час обмежував себе лише науковими інтересами, раптово після оголошення Великобританією війни проти Німеччини пробудився до політичної активності. Ця активність набула агресивної форми, чого не сподівались від науковця. Дослідники припускають, що однією із зовнішніх причин англофобії Ленарда було відкриття саме англійцями згідно з теорією Айнштайна явища викривлення світлових променів у гравітаційному полі, яке спостерігали під час повного затемнення Сонця дві англійські астрономічні експедиції 20.05.1919 року, та ще незначна увага до досліджень Ленарда з боку Томсона під час відкриття ним електрона та Резерфорда під час його дослідження будови атома.

Впродовж 1935–1945 інститут, який збудував Ленард, називався „Інститут фізики та радіології імені Ленарда”. Присвоєння інституту імені Ленарда мало зв'язок із підтримкою Ленардом ідеології націонал-соціалістів як задовго до переходу державної влади до них 1933 року, і під час їхнього владарювання. Ленард ще 1919 року прихильно сприйняв політичну присутність Гітлера, а 08.05.1924 р. разом зі Штарком (Johannes Stark, 1874–1957) опублікував у газеті „Grossdeutsche Zeitung” сприятливу для нацистів заяву про те, що в особі Гітлера він бачить майбутнього



вождя Німеччини [23]. Через політичну орієнтацію Ленарда більшість сучасних йому німецьких колег дистанціювалась від нього. У наш час ставлення до нього як до аутсайдера в німецькій культурі вельми критичне. Водночас у демократичній Німеччині його діяльність уважно вивчають, наукова частина його спадщини ґрунтовно представлена в знаменитому Німецькому музеї в Мюнхені. Доречно наголосити, що етичний бік діяльності та поведінки німецьких науковців та їхню причетність до злочинів часів тоталітаризму ретельно досліджують у Німеччині та за її межами. На це, крім допитливості та сумлінності дослідників, є багато причин, з яких можна назвати засудження нацистської ідеології та покарання злочинців за рішенням міжнародного суду, державний інтерес та високий рівень національної свідомості євреїв.

Тлумачення Ленардом фізичної природи зовнішнього фото ефекту, катодних променів і будови атома було пов'язано з його класичними поглядами на фундаментальну роль ефіру. За усталеною наприкінці XIX сторіччя гіпотезою, світовий ефір – це середовище, що заповнювало весь простір і було носієм електромагнетного та гравітаційного полів. Про ефір Ленард уперше прочитав доповідь на тему „Ефір та матерія” перед Гайдельберзькою академією наук 04.06.1910 року. Наступного року ця доповідь була опублікована. Ф. Ленард 1918 року надрукував працю „Про принцип відносності, ефір, гравітацію”, а 1922 року – „Про ефір та праефір”. Розвиваючи теорію ефіру та вводячи до неї нові ідеї, Ленард, однак, ще більше ускладнював ситуацію, бо всі моделі ефіру попри свою ускладненість мали досить звужене використання лише для пояснення обмеженої групи явищ і були дуже далекими від універсальності. Гіпотеза ефіру не була підтверджена дослідями, що прямо засвідчували б його існування. Цю гіпотезу заперечив дослід Майкельсона (Albert Abraham Michelson, 1852–1931), який було здійснено 1881 року і з якого випливав висновок про те, що в земних умовах величини швидкостей поширення світла однакові для різних напрямків. Айнштайн узагальнив цей результат і поклав його в основу спеціальної теорії відносності. Однак Ленард залишався вірним теорії ефіру, з якою модерна теорія відносності була несумісна. Він у межах теорії ефіру-праефіру пояснював дос-

ліди Фізо (Armand Hippolyte Louis Fizeau, 1819–1896) 1851 року і Майкельсона 1881 року. На підставі класичного підходу він вивів формули про еквівалентність енергії тіла його масі й про збільшення маси тіла при зростанні швидкості руху тіла, що вже були відомі як релятивістські формули. Проте Ленард не міг зупинити приходу та поширення теорії відносності Айнштайна. Цю історичну ситуацію з переміною теорій можна було б прокоментувати виразом Квінке: „Теорії приходять і відходять, як людські покоління, а факти залишаються”. Очевидно, Ленард не засвоїв цього повчання свого вчителя.

З віком творчі сили Ленарда слабнули. Важким ударом долі стала для нього 1922 року смерть сина Вернера і через це втрата сподівань на продовження роду Ленардів. Внаслідок післявоєнної інфляції в часи Ваймарської республіки знецінились його заощадження і Нобелівська премія, яка становила майже 50000 доларів (розмір премій до 1915 року) і яку Ленард планував використати для розширення наукових досліджень. Ленард віддалявся від оригінальних досліджень і почав писати оглядові роботи. Вплив Ленарда на фізику в Німеччині незадовго перед встановленням тоталітарного режиму 1933 року та під час його панування був незначним. Прагнучи бути активним, він у листі до райхсканцлера запропонував свої послуги в здійсненні нової кадрової політики в університетах. Відомий лист Ленарда до центральної газети націонал-соціалістичної партії „Völkischer Beobachter” (аналог московської комуністичної газети „Правда” у колишньому Радянському Союзі), опублікований 13.05.1933 р. під назвою „Великий день для дослідження природи”. Цим листом Ленард злорадісно відгукнувся на вимушену еміграцію Айнштайна з Німеччини до США та з партійно-настановних позицій у відповідних термінах намагався зобразити шкоду від наукової діяльності творця релятивістської теорії та застеріг тих, хто раніше мав „Relativitätsjude” Айнштайна за „гарного німця”.

Уже на пенсії Ленард написав на базі своїх знаменитих лекцій підручник. Його чотири томовий підручник експериментальної фізики з'явився 1936 року і був перевиданий у 1941 і 1942 роках під суголосною режимові назвою „Німецька фізика”. Проте цей підручник не здобув загального



схвалення, бо його автор мало користувався математичним апаратом, а також наполягав на природній схильності нордичної раси аріїв до науки тощо.

Ф. Ленард був свідомий тих змін, які відбулись в його суспільному світобаченні. Розмірковуючи над цим, він зізнався Рамзауеру, що він завдячує своїми успіхами зовсім не арійцям, а тільки своєму вчителю Герцу та гайдельберзькому математикові Кенігсбергеру (Leo Koenigsberger, 1837–1921) [22], яких він не зараховує до арійців. У часи тоталітаризму Ленарда як символічну фігуру офіційно вшановували державними та партійними нагородами [2, 24–28]. Ленард пишався, що йому до 80-річчя подарували портрет Гітлера з дарчим написом. Проте до Ленарда як до авторитетного фахівця з фізичної науки вже менше прислухались, бо стало очевидним, що актуальними для розвитку технології та підготовки наукових і технічних кадрів стають фізико-теоретичні твердження, які він заперечував. Ідеологи „арійської” (або „німецької” чи то „нордичної”) фізики Ленард і Штарк та ще декілька фізиків надалі проголошували вартісним фундаментом фізичного пізнання тільки дослід та спостереження. Вони декларували, що расовість природодослідника прямо впливає на достовірність його наукових результатів. „Німецька фізика” була більше політикою з антисемітським наголосом, ніж фізикою. Ідеологія самодостатньої „німецької фізики” Ленарда і Штарка, яка нехтувала новою теоретичною фізикою – теорією відносності й квантовою механікою, виявилась невідповідною індустріальним потребам і вимогам прискореної мілітаризації промисловості в державі з агресивним режимом, який зазнав історичного краху.

На початку 1945 року Ленард з дружиною і донькою переїхав із Гайдельберга до містечка Мессельгаузен поблизу Бад Мергентгайма, де пережив капітуляцію нацистської Німеччини у Другій світовій війні. З огляду на вік, він не був інтернований американцями. Філіпп Ленард помер 20 травня 1947 року.

Правдивий образ Ленарда, людини великої творчої потуги з нарцисичними рисами, людини амбітної та вразливої, передати складно. Лауе повідомив про смерть Ленарда в Геттінгені на конференції фізиків 1947 року такими словами: „Ми

не можемо і не хочемо замовчувати або вибачати промахи псевдополітика Ленарда, але як фізик він належить до великих”. Майже сорок років після цього співробітники Гайдельберзького університету д-р Р. Нойман та ректор проф. Г. цу Путлітц у збірнику до 600-річчя університету закінчили багатопланову працю [29] про Ленарда висловом про те, що із сьогоденного погляду Ленард загубив моральний кредит, який спершу належав йому як великому у фізиці.

Автор вдячний професорові Д. Гофману (Dieter Hoffmann, Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin) та панові Нойфельду (Herbert Neufeld, Berlin) за консультації.

**Берлін,  
25 квітня 2004 року**

#### Література

1. Lenard P. Nobel-Vorlesung: Über Kathodenstrahlen. Gehalten am 28. Mai 1906. // In P. Lenard. Wissenschaftliche Abhandlungen. Verlag von S. Hirzel in Leipzig, 1944. – Bd. 3. – S. 167–197.
2. Lenard P. Erinnerungen eines Naturwissenschaftlers, der Kaiserreich, Judenherrschaft und Hitler erlebt hat. Typoskript, Heidelberg, 1943.
3. Lenard P. Über Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äussersten Vakuum // Ann. d. Phys. u. Chem. 1894. – Bd. 51. – S. 225–267.
4. Lenard P. Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeiten // Ann. d. Phys. 1903. – Bd. 12. – S. 714–744.
5. Schirmacher A. Wie die Physikgeschichte in das Deutsche Museum kommt // Physik Journal. 2003. – Bd. 2. – Nr. 9. – S. 49–53.
6. Schirmacher A. Das leere Atom. Instrumente, Experimente und Vorstellungen zur Atomstruktur um 1903 // In O. Blumtritt, U. Hashagen, H. Trischler (Hg.) – Wissenschaftliche und technische Artefakte in der Gründungszeit des Deutschen Museums. München. 2003. – S. 1–24.
7. Heilbron J. L. A history of the problem of atomic structure from the discovery of the electron to the beginning of quantum mechanics. University of California, Berkeley, Ph. D. History, General. University Microfilms, Inc., Ann Arbor, Michigan. 1964.
8. Kossel W. Zu Philipp Lenards 50jährigem Doktorjubiläum (9. Juli 1936) // Forschungen und Fortschritte. 1936. 12. Jahrgang. – Nr. 20/21. – S. 247–248.



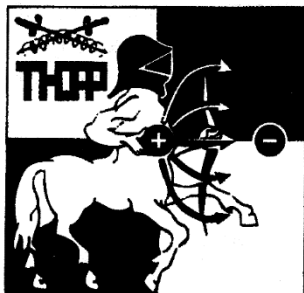
9. Lenard P. Wissenschaftliche Abhandlungen. (Kathodenstrahlen, Elektronen, Wirkungen ultravioletten Lichtes). Verlag von S. Hirzel, Leipzig, 1944. – Bd 3. – S. 122–123.
10. Lenard P. Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht // *Ann. d. Phys.* 1900. – Bd 2. – S. 359–375.
11. Lenard P. Ueber die lichtelektrische Wirkung // *Ann. d. Phys.* 1902. – Bd 8. – S. 149–198.
12. Einstein A. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. // *Ann. d. Phys.* 1905. – Bd 17. – S. 132–148.
13. Wheaton B.R. Philipp Lenard and the Photoelectric Effect, 1889–1911 // *Historical Studies in the Physical Sciences*. 1978. – Vol. 9. – P. 299–322.
14. Kleinert A., Schönbeck Ch. Lenard und Einstein. Ihr Briefwechsel und ihr Verhältnis vor der Nauheimer Diskussion von 1920 // *Gesnerus*, 1978. – Bd 35. – Heft 1/2. – S. 318–333.
15. Hermann A. Der Kampf um die Relativitätstheorie // *Bild der Wissenschaft*. 1977. – Bd 14. – Heft 9. – S. 108–116.
16. Allgemeine Diskussion über Relativitätstheorie // *Physikalische Zeitschrift*. 1920. – Bd 21. – Nr. 21/22. – S. 666–668.
17. Weyl W. Die Relativitätstheorie auf der Naturforschersammlung in Bad Nauheim // *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*. 1922. – Bd 31. – S. 51–63.
18. Schönbeck Ch. Albert Einstein und Philipp Lenard. Antipoden in Physik und Zeitgeschichte // *Schriften der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Heidelberger Akademie der Wissenschaften*. Springer-Verlag Berlin, 2000. – Nr. 8. – S. 1–42.
19. Hoffmann D. Einsteins politische Akte // *Phys. Unserer Zeit*. 2004. – Bd. 35. – Nr. 2. – S. 64–69.
20. Kleinert A. Paul Weyland, der Berliner Einstein-Töter. In: H. Albrecht (Hg.) *Naturwissenschaft und Technik in der Geschichte*. Universität Stuttgart. 2003. – S. 199–232.
21. Lenard P. Über die Lichtemission der Alkalimetalldämpfe und Salze und über die Zentren dieser Emissionen // *Ann. d. Phys.* 1905. – Bd 17. – S. 197–247.
22. Ramsauer C. *Physik-Technik-Pädagogik. Erfahrungen und Erinnerungen*. Braun Verlag, Karlsruhe, 1949.
23. Stark J. Philipp Lenard als Vorbild // *Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft*. Mai-Juni 1942, 8. Jahrgang, Folge 5–6. – S. 100–101.
24. Philipp Lenard der Vorkämpfer der deutschen Physik // *Karlsruher Akademische Reden*, 1937. – Nr. 17.
25. Becker A. Philipp Lenard und seine Schule. I. Lenards wissenschaftliche Arbeiten // *Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft*. Mai-Juni 1942, 8. Jahrgang, Folge 5–6. – S. 143–144.
26. Hoffmann D. Philipp Lenard – ein „deutscher“ Physiker // *Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft der DDR*, 1990. – Nr. 5. – S. 6–10.
27. Beyerchen A. D. *Wissenschaftler unter Hitler. Physiker im Dritten Reich*. 1980, Kiepenheuer u. Witsch Verlag, Köln. Originalausgabe: *Scientists under Hitler*. Yale University Press, New Haven and London, 1977.
28. Klee E. *Das Personenlexikon zum Dritten Reich. Wer war was vor und nach 1945*. Frankfurt / M, Fischer Verlag, 2003.
29. Neumann R., G. Frh. zu Putlitz: Philipp Lenard. 1862–1947 // *Semper apertus. Sechshundert Jahre Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg (1386–1986)*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, 1985. – Bd 3. – S. 376–405.

*(початок читайте на стор. 9)*

Для багатьох це стало великим розчаруванням, тому що раніше інша група з ЦЕРНу заявила про виявлення бозонів Гітса. Однак згодом вони визнали, що припустилися помилок у розрахунках. Науковці недооцінили рівень фонового шуму, і прийняли за частинки Гітса дію фонових частинок. Вони переглянули свої розрахунки, і підтвердили, що ознак бозонів Гітса не виявлено до енергій 115 GeV, тобто там, де очікували їх знайти. Нині науковці оцінюють ймовірність виявлення бозонів Хітса у 30%, тобто їхнє існування все менш і менш імовірне.

Це не перша вада стандартної моделі. В лютому 2004 року дослідники з Брукгевенської національної лабораторії (США) заявили, що магнетний момент мюона відрізняється від передбачуваних значень. Проте останні новини набагато вагоміші – невиявлення бозонів Гітса свідчить, що стандартна модель вимагає суттєвого перегляду. Цю думку поділяють далеко не всі. Нобелівський лавреат з фізики 2004 року Френк Вілчек зазначив, що результати, одержані в ЦЕРНі, можна трактувати так: частинки Гітса мають неймовірно велику масу (понад 130 GeV). А дослідник з ЦЕРНу Девід Плейн упевнений, що їх врешті-решт знайдуть „тільки за вищих енергій, ніж ті, які можна створити нині”.

Фізикам, які впродовж багатьох років шукали бозони Гітса, важко погодитись з припущенням, що вони не існують. Проте справжній дослідник має насамперед шукати істину!



# Умови задач

## ХІІІ Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків 2004/2005 навчального року

*Наука витончує розум,  
навчання загострює пам'ять.*

*Кузьма Прутков,  
афоризм № 7*

### 1. „Придумай сам”

Маючи мідний дріт, джерело постійної напруги (батарея з ЕРС – 4,5 В), розчин солі й залізне осердя, зробіть і продемонструйте пристрій, який би примусив „мигати” неонову лампу (напруга запалювання – 120 В).

### 2. „Ефект Едісона”

Явище термоелектронної емісії Едісон демонстрував за допомогою електрометра і лампи розжарення. Яким способом можна оцінити величину „термоемісійного струму”?

### 3. „Океан Солярис”

Прозору посудину заповнюють деякою кількістю насиченого розчину солі, а далі акуратно доливають прісну воду. Утворюється чітка межа поділу. Дослідіть її поведінку під час нагрівання нижньої рідини.

### 4. „Левітація”

Металева кільце може зависнути над котушкою зі струмом. Яка підймальна сила в ньому виникає?

### 5. „Лассо”

Яку мінімальну швидкість мусить мати лассо, щоб площа петлі була нахилена під постійним кутом до горизонту?

### 6. „Просто електростатика”

Запропонуйте і реалізуйте у вимірювальному пристрої метод, який дає змогу визначити густину електричного заряду, який виникає на пластмасовій лінійці після натирання її папером.

### 7. „Човник Попова”

На масивній металевій пластинці розміщений листок слюди, на неї поміщують металеву підкову. Всередину підкови кладуть шматочок сухого палива і підпалюють (див. рис.). Опишіть і поясніть явище, яке ви спостерігатимете.

### 8. „Спекотне літо”

Металеві листи, які перебувають під прямим сонячним промінням, починають „потріскувати” після того, як сонце прикриє хмара. Від чого залежать характеристики такого звуку?

### 9. „Ідеальний лук”

Чи існує оптимальна форма лука, за якої досягається максимальна дальність польоту стріли?

### 10. „Стрибки по воді”

Якщо стати на маленьку дерев'яну дошку на воді, то можна „провалитися”. Якої мінімальної площі треба покласти дошки, щоб по них можна було перебратися через водоймище?

**11. „Кап-кап-кап”**

Ми всі бачили, як із крана крапає вода. Чим визначається частота крапання?

**12. „Потовчене скло”**

Наскільки сильно треба потовкти кольорове скло пляшки, щоб воно стало безколірним?

**13. „Повітряна ракета”**

Надуту повітряну кульку випустіть з рук. Від чого залежить максимальна швидкість польоту?

**14. „Сім футів під килем”**

Визначіть умови стійкого плавання і кількість положень рівноваги ємності, наприклад, пластикової склянки з-під йогурту, залежно від рівня його наповнення.

**15. „Піски Сахари”**

Дослідіть форму поверхні сипкого матеріалу (цукор-пісок, пісок тощо), якщо посудину з цим матеріалом, почати обертати. Проаналізуйте отриманий результат з відомою формою поверхні для рідини, що обертається.

**16. „Світло-звук”**

Очевидно, що оптичну лінзу можна побачити, але не можна почути. Акустичну лінзу можна почути. А чи можна її побачити? Продемонструйте своє „бачення” акустичної лінзи.

**17. „Гвинт Архімеда”**

*„Море с ревом ломит судно  
Волны пенятыя кругом  
Но и судну плыть не трудно  
С Архимедовым винтом”.*

К. Прутков. „Подорож до Кронштадту”

Визначіть ККД (силу тяги) гвинта Архімеда.

*Задачі запропонували:*

- І. Анісімов, О. Кельник, Б. Кременський (Київ),  
І. Ненашев, І. Гельфгат (Харків),  
Г. Златев (Болград), О. Л. Камін (Луганськ),  
П. Віктор, В. Колебошин, В. Кулінський (Одеса),  
О. Шевчук (Ніжин), І. Казачек (Севастополь)

## НОВИНИ ІНТЕРНЕТУ

### Фізика перемогли силу Лоренца

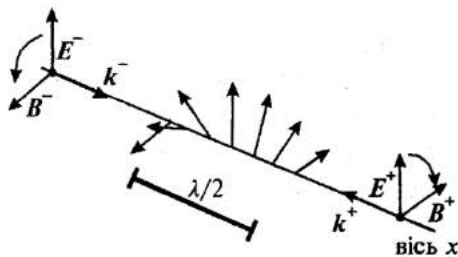
Канадські фізики значно удосконалили методику, за допомогою якої науковці досліджують процеси всередині ядра. Під час таких досліджень на атоми за допомогою лазера діють потужним електромагнетним випромінюванням. Електричне поле електромагнетної хвилі вириває електрони з атома, які відлітають від нього на деяку відстань. Далі ці електрони повертаються назад. Під час „зіткнення” електрона з досліджуваним йоном виникає короткий імпульс ультрафіолетового випромінювання, параметри якого характеризують процеси, які відбуваються всередині ядра атома.

Недоліком цієї методики є те, що на рухомі електрони, крім електричного поля, діє й магнетне поле, яке змінює траєкторію електрона тим сильніше, чим швидше він рухається (сила Лоренца). Якщо ж електрон має малу енергію (сила Лоренца мала), він не може достатньо близько підлетіти до ядра, щоб „відчути” процеси, які відбуваються в ньому. Якщо енергія електрона перевищує 1000 еВ, він, повертаючись назад, зазвичай не потрапляє на атом.

Томасові Брабецу та його колегам з Університету Оттави й Інституту молекулярних досліджень імені Стіси (Онтаріо, Канада), вдалося вирішити цю проблему. Вони використали не один, а два лазери, випромінювання яких характеризується коловою поляризацією. Лазери, розташовані з різних боків від досліджуваного об'єкту, випромінюють назустріч один одному, й взаємно компенсують магнетну складову електромагнетної хвилі.

Науковці вважають, що за допомогою запропонованої ними схеми можна довести енергію електронів до 1 МеВ, тобто збільшити її майже в тисячу разів.

Завдяки цьому, електрон може значно ближче підлетіти до ядра досліджуваного атома, що дає змогу докладніше досліджувати внутрішні процеси, тривалість яких сягає аттосекунд (атто дорівнює  $10^{-18}$ ). До того ж, фізики вважають, що запропоновану ними схему можна використовувати скрізь, де треба позбутися паразитного впливу магнетного поля на рухомі заряди.



[www.hitech.compulenta.ru](http://www.hitech.compulenta.ru)





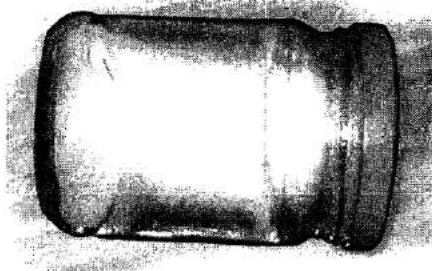
# Досліди Мудрагелика

Валерій Старошук,  
учитель фізики СЗШ № 3 м. Києва

## Заняття 2

### Залежність густини тіла від температури

На минулому занятті ми з'ясували, що густина води зменшується, якщо вона переходить з рідкого стану у твердий. Зрозуміло, що це призводить до збільшення об'єму речовини, або виникнення значних внутрішніх напруг, якщо вода міститься в закритій посудині. Напруги настільки великі, що їх не витримує скляна банка, яку з водою поклали до морозильної камери (мал. 1).



Мал. 1

Густина більшості твердих і рідких речовин, якщо вони не змінюють агрегатного стану, зі зниженням температури зростає. Це неважко перевірити на досліді.

### Дослід 1

*Мета:* пересвідчитися на досліді, що нагріта монета має більші розміри.

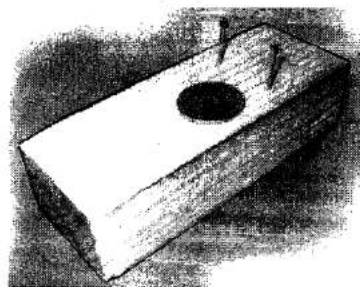
*Для проведення досліді треба мати:* дерев'яний брусок, монету вартістю 5 копійок, два цвяхи, молоток, свічку, сірники (запальничку), пасатижі (пінцет).

*Пам'ятка.*

**Будьте обережні.**

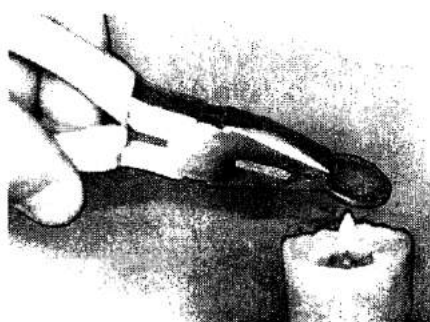
**Пам'ятайте, що монета розжарена.**

**Не беріть її руками, а тільки пасатижами!**



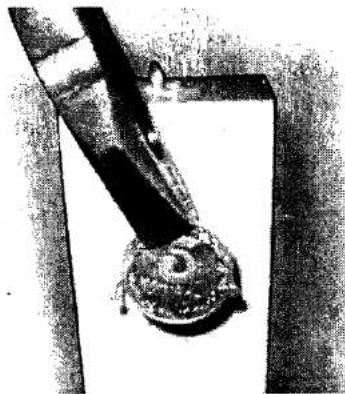
Мал. 2

Спочатку забийте в брусок два цвяхи так, щоб монета проходила між ними без зазору (мал. 2). Потім візьміть пасатижами монету за край і нагрійте її 5 хв над полум'ям свічки (мал. 3).

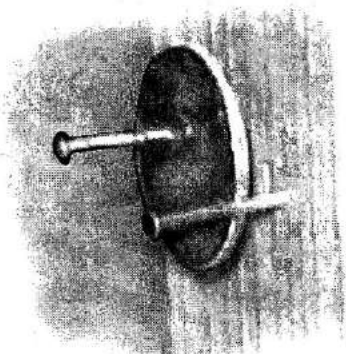


Мал. 3

Діаметр гарячої монети став більшим, тому вона певний час не проходить між двома цвяхами (мал. 4, 5)



Мал. 4



Мал. 5

**Запитання**

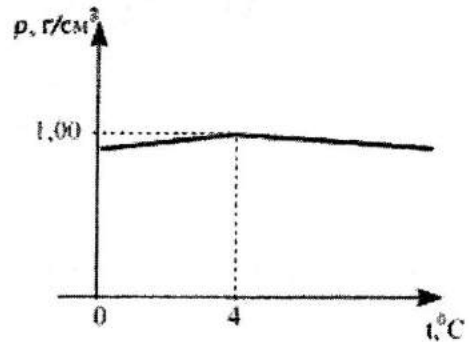
1. Як змінилася середня швидкість руху молекул у монеті під час нагрівання?
2. Як змінилася густина сплаву, з якого зроблена монета, під час нагрівання?
3. Уявіть собі, що в монеті просвердлено отвір. Як зміниться його діаметр під час нагрівання монети? Чому?



*На цьому досліді ми переконалися, що густина сплаву металів, з якого зроблена монета, зменшується під час нагрівання.*

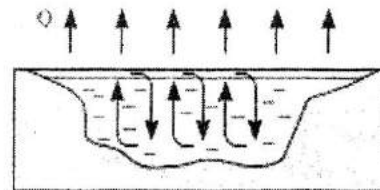
*Вода також зменшує свою густина під час нагрівання від 4 до 100° С (за нормального атмосферного тиску), але якщо нагрівати воду від 0 до 4° С, її густина буде зростати (мал. 6). Це пов'язано з тим, що молекули води можуть утворювати між собою ланцюжки та об'єднання певних форм. До речі, якби вода не мала такої властивості, взимку озера або зовсім не замерзали б, або перетворювались би на суцільну кригу. Розгляньмо процес утворення льоду на поверхні озера.*

*До речі, якби вода не мала такої властивості, взимку озера або зовсім не замерзали б, або перетворювались би на суцільну кригу. Розгляньмо процес утворення льоду на поверхні озера.*



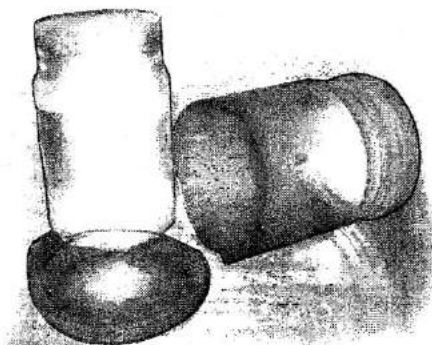
Мал. 6

Коли повітря над озером має від'ємну температуру, поверхня озера охолоджується, густина води поверхневого шару стає більшою. Під дією сили тяжіння вона рухається донизу, створюючи конвективні потоки (мал. 7). Так триватиме доти, доки вся вода не охолоне до 4° С. Під час подальшого її охолодження густина стає меншою, вона



Мал. 7

вже залишається на поверхні, й замерзає. Якщо на лід випадає сніг, він утворює шар, який погано передає тепло від води в повітря. Теплопровідність снігу в 5 разів менша від теплопровідності



Мал. 8



води та в 22 рази менша від льоду. У льоді можуть також бути бульбашки повітря, які зменшують його теплопровідність. Тому взимку глибокі озера ніколи не промерзають до дна.

У льоді, який утворився з води, що була в банці (мал. 8), добре видно бульбашки, які роблять лід непрозорим і надають йому білого кольору.

Спробуйте самостійно пояснити, чому бульбашки повітря утворилися всередині банки?

### Домашнє завдання

1. Візьміть дві однакові прозорі пластмасові пляшки (0,5 л). Одну з них заповніть холодною водою з-під крана, а іншу – водою, яка перед цим кипіла хвилину й охолонула до кімнатної температури. Покладіть закриті пляшки до морозильної камери на добу. Розгляньте лід, який утворився в пляшках. Які відмінності Ви помітили? Поясніть їх.
2. Поставте пляшки поряд нагріватися до кімнатної температури. У якій з них лід тоне швидше? Чому?

*Сподіваюсь, що Ви всі виконали попереднє домашнє завдання, яке було опубліковане в журналі „Світ фізики” (2004, № 2) у рубриці „Фізика для наймолодших” і зробили такі висновки:*

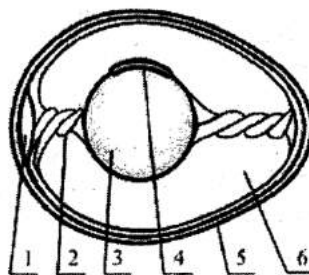
#### Дослід 1

*Шкаралупа яйця в морозильній камері холодильника тріснула.*

Це свідчить про те, що вміст яйця став більшим за об'єм і меншим за густиною. Таку незвичайну властивість має вода. Під час замерзання вона різко збільшує свій об'єм. Зауважу, що в більшості речовин під час переходу з рідкого стану в твердий густина зростає.

#### Дослід 2

Внутрішня будова яйця дуже складна. На малюнку вона зображена у спрощеному вигляді. Сподіваюся, що Ви знаєте, з чого складається яйце. Назвіть позиції, що зображені на малюнку.



#### Дослід 3

Олія потрібна для того, щоб яйце не пригорало. Доки олія кипить, температура поверхні сковороди буде сталою. Температура кипіння олії вища, ніж води, тому приготування відбуватиметься швидше. До того ж, олія не так швидко випаровується, як вода.

## ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛІ ЗАМІСТЬ ФІЗИКИ

**Олександр Кельник,**

*доцент радіофізичного факультету Київського національного  
університету імені Тараса Шевченка,*

**Олег Орлянський,**

*доцент фізичного факультету Дніпропетровського  
національного університету*

Фізичні теорії – це математичні моделі навколишнього світу. Оскільки точність, з якою ми сприймаємо світ, обмежена, моделі можуть мати наближений характер. У межах цих моделей ми розглядаємо явища, розв'язуємо задачі. Зазвичай, задачі досить складні, і ми їх дещо спрощуємо, чимось нехтуємо, одержуємо розв'язки для граничних випадків. І тут на нас чатує небезпека. Якщо межі застосування фізичних теорій неодноразово дискутувалися під час їх становлення, і тепер всім добре відомі та зрозумілі, то межі застосування моделей, на які ми зважуємося під час розв'язання окремих задач, потребують індивідуального уважного аналізу. Трапляється навіть, що ці межі стягують межі визначення моделі в порожню множину. На фінальному турі останньої Соросівської олімпіади запропонували задачу про масу повітря, яке увійде до шахти завглибшки 500 км і площею перерізу  $1 \text{ дм}^2$ , якщо всередині шахти підтримувати таку ж температуру, як і на поверхні. Маса повітря, розрахована згідно з добре відомою експоненціальною формулою для ізотермічної атмосфери, виявилася значно більшою від маси всієї Землі. Абсурдний результат. Висновок: користуватися моделлю ідеального газу для розв'язування цієї задачі не можна.

Таких прикладів можна навести багато. Особливо напруженою проблема аналізу умов застосування вибраної моделі постає на олімпіадах. Обмаль часу, а в умовах задач не сказано, чим можна знехтувати, а чим ні. На жаль, для багатьох учасників олімпіади такої проблеми начебто не існує. З умов задачі вони здогадуються (або думають, що здогадуються) чого від них хоче автор, і швиденько підігрують йому. Особливо сумно,

якщо аналогічну задачу вони в якомусь збірнику вже зустрічали, і там вона була розв'язана без будь-якого аналізу. Фізику підмінюють моделлю, яка до дійсності може вже не мати ніякого стосунку.

У зв'язку з цим хотілося б показати, як, на нашу думку, у складних випадках слід підходити до умов задачі, вибирати модель й окреслювати межі її застосування.

На 41-й Всеукраїнській олімпіаді юних фізиків, яка проходила з 14 до 20 березня 2004 року в м. Суми, запропонували таку задачу:

*Металева куля радіусом  $R$  через котушку індуктивності  $L$  сполучена із землею (рис. 1). На неї налітає пучок електронів, які рухаються з нескінченності. Визначіть максимальний заряд кулі та побудуйте графік залежності сили струму, який проходить через котушку, від часу. Вважайте, що спочатку куля була незаряджена, концентрація електронів у пучку  $n$ , а їхня швидкість  $v \ll c$ , де  $c$  – швидкість світла. Взаємодією між електронами та впливом на них поля кулі знехтуйте.*

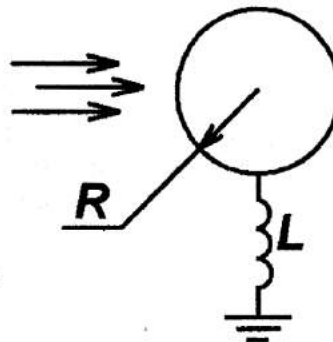


Рис. 1

Найпростіший розв'язок цієї задачі ґрунтується на побудові еквівалентної схеми. Поверхню металевої кулі можна розглядати як обкладку конденсатора ємністю  $C = 4\pi\epsilon_0 R$  ( $\epsilon_0$  – електрична стала), інша обкладка якого віднесена на нескінченність, звідки на поверхню кулі падає електронний пучок із силою струму

$$I_n = \Delta q / \Delta t = -e \Delta N / \Delta t = -envS,$$

де  $e$  – елементарний заряд,  $S$  – площа перерізу тієї частини пучка, що падає на поверхню кулі; якщо пучок охоплює кулю, то  $S = \pi R^2$ . Тоді цей пучок, струм якого проходить „всередині конденсатора”  $C$ , можна подати як джерело сталого струму  $J = -I_n = envS$ , під'єднане до цього конденсатора паралельно. Враховуючи, що потенціал нескінченності дорівнює нулеві, тобто потенціалові заземлення, приходимо до еквівалентної схеми (рис. 2), яка є паралельним з'єднанням коливного контуру та джерела сталого струму.

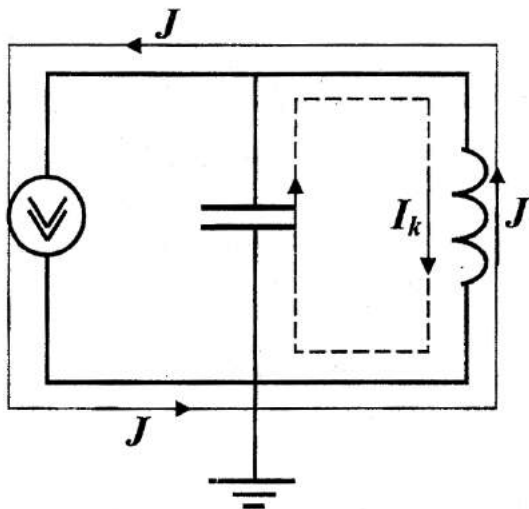


Рис. 2

Активним опором провідників знехтуймо. У момент падіння електронів на поверхню кулі в нашому еквівалентному колі виникає сталий струм  $J = envS$ . Оскільки до цього заряд конденсатора і струм через котушку були відсутні, швидка зміна „зовнішнього” струму від 0 до  $J$  викликає ЕРС самоіндукції й індукційний струм, який протидіє

зміні магнетного потоку через котушку і спрямований проти  $J$  (рис. 2). У контурі виникають коливання. Загальний струм  $I$  через індуктивність  $L$  у будь-який момент часу можна розглядати як такий, що складається з двох струмів – сталого струму джерела  $J$  та струму  $I_k$  гармонійних коливань у контурі:

$$I = J - I_k.$$

Як відомо,

$$I_k(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi_0),$$

де  $\omega = 1/(LC)^{1/2}$  – власна частота контуру,  $I_m$  – амплітуда коливань,  $\varphi_0$  – початкова фаза. Для гармонійних коливань сумарна енергія електричного поля конденсатора і магнетного поля котушки зберігається

$$W = q^2(t)/(2C) + LI_k^2(t)/2 = LI_m^2/2 = const.$$

Із закону збереження енергії знайдемо залежність від часу заряду на обкладках конденсатора

$$q(t) = \pm \sqrt{LC(I_m^2 - I_k^2(t))} = \pm \sqrt{LC} I_m \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Фізичний зміст знака  $\pm$  зрозумілий – конденсатор має дві обкладки, заряди на яких протилежні за знаками. Оскільки в початковий момент часу заряд кулі (верхньої обкладки конденсатора на рис. 2) дорівнював нулеві,  $q(0) = 0$ , а далі почав набувати від'ємного значення, маємо, що  $\varphi_0 = 0$  і

$$q(t) = -\sqrt{LC} I_m \sin(\omega t).$$

Струм через котушку

$$I(t) = J - I_k(t) = J - I_m \cos(\omega t)$$

у початковий момент часу дорівнював нулеві.

Отже,  $I_m = J = envS$ , і залежності  $I(t)$  і  $q(t)$  набувають вигляду

$$I(t) = J - I_k(t) = envS(1 - \cos(\omega t)), \quad (1)$$

$$q(t) = -envS \sqrt{4\pi\epsilon_0 RL} \sin(\omega t). \quad (2)$$

Максимальний заряд кулі буде:

$$q_{\max} = envS(4\pi\epsilon_0 RL)^{1/2}.$$

Графічно залежності від часу струму через котушку і заряду на кулі зображені на рис. 3.

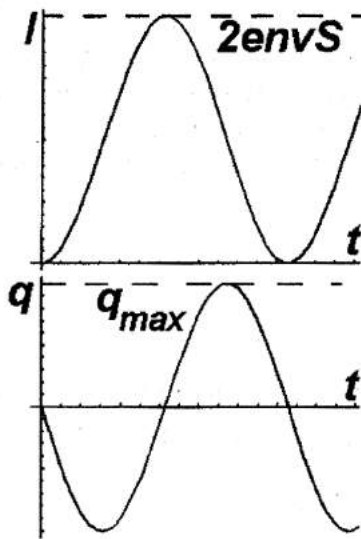


Рис. 3

Отже, стандартна задача про коливання у найпростішому коливальному контурі була застосована до пояснення процесів у системі, що містить електронний пучок. Очевидно, цей розв'язок не є, та й не може бути, загальним і не враховує всіх можливих явищ, які запропоновано в задачі. В умові задачі запропоновано знехтувати взаємодією між електронами та впливом на них поля кулі. Це звісно не тільки спрощує розв'язування задачі, а й вимагає усвідомлення того, що отриманий так розв'язок є правильним лише для малих концентрацій електронів у пучку. Виникає запитання: наскільки малих? Чи слід давати кількісну оцінку концентрації? Важко щось порекомендувати тим, хто розв'язує задачу під час олімпіади. Часу обмаль, в умові сказано знехтуйте, – ось і нехтуємо! Що ж, усе зрозуміло. Але якщо під час розв'язування задачі застосовувати додаткові припущення, про які в умові нічого не сказано, слід сподіватися на докладніше обґрунтування. Розгляньмо деякі припущення, які було зроблено під час розв'язування цієї задачі.

По-перше, ми вважали, що струм з боку електронного пучка відразу від нуля набув сталого значення  $J = envS$ . Наскільки це виправдано? Складатися враження, що фронт пучка мав профіль увігнутої сфери радіусом  $R$  (рис. 4). Таке припу-

щення виглядає досить штучним. Ми не знаємо, яку форму має фронт пучка, але можна припустити, що в разі, коли час  $t$  встановлення струму  $J = envS$  значно менший від характерного часу коливаний у системі  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , встановлення струму  $J = envS$  можна вважати майже миттєвим, що відповідає моделі розв'язку. Оцінімо  $t$  як час, за який пучок проходить характерну відстань  $R$ :

$$\tau = R/v.$$

$$\text{Отже, } \tau = R/v \ll T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Звідси знайдемо обмеження на швидкість пучка

$$v \gg \frac{R}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4\pi\epsilon_0}} \sqrt{\frac{R}{L}}.$$

Якщо взяти кулю діаметром 10 см та котушку індуктивністю 1 мГн, отримаємо  $v \gg 10^5$  м/с, що відповідає прискорювальній напрузі  $U \gg 30$  мВ (майже всі реальні електронні пучки задовольняють цій умові). Отже, швидкість пучка обмежена не лише згори (за умовою задачі  $v \ll 3 \cdot 10^8$  м/с), а й знизу. Обмеження знизу залежить від розмірів кулі та індуктивності котушки, і за більших розмірів кулі та малих індуктивностей наведений вище розв'язок може не відповідати дійсності.

Розгляньмо ще одне припущення, яке може привести до суттєвих обмежень умов застосування отриманого розв'язку.

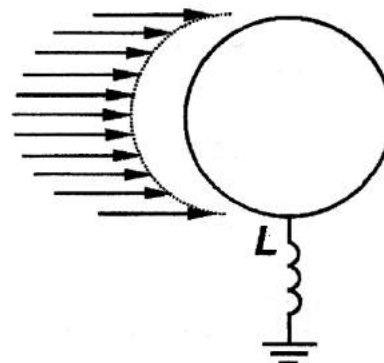


Рис. 4

За умовою задачі потрібно було визначити максимальний заряд кулі. Взаємодією між електронами пучка та впливом на них поля кулі пропонували знехтувати. А впливом електронного пучка на кулю? Чи можемо ми бути впевнені, що отримали правильну відповідь, адже ми ніяк не враховували заряду, наведеного на кулі з боку пучка електронів або землі? Вплив зарядів, які наводяться на поверхні землі пучком і самою кулею, мабуть можна не враховувати, зробивши зауваження на зразок: „вважаємо, що земля та інші тіла досить віддалені від кулі, тому впливом наведених на них зарядів на кулю можна знехтувати”. Але це не стосується пучка електронів, оскільки він безпосередньо входить у кулю. Можна заперечити, що за умовою „спочатку куля була незаряджена”, але, що таке „спочатку”, коли пучок електронів рухається з нескінченості? Якщо „спочатку” розуміти, як у момент часу, коли електрони були нескінченно далеко, тоді відсутність заряду на кулі цілком зрозуміла. Але з наближенням електронного пучка до кулі, на ній має наводитись деякий заряд  $q_e$ , який може виявитись не меншим від заряду

$$q_{\max} = envS(4\pi\epsilon_0RL)^{1/2}, \text{ який ми одержали.}$$

Отже, щоб врятувати цей розв'язок, потрібно накласти умову  $q_e \ll q_{\max}$ . Оцінімо в електростатичному наближенні наведений заряд  $q_e$  у момент часу, коли електрони „налетіли” на кулю.

Точковий заряд  $dq$ , який перебуває на відстані  $r$  від центра кулі, створює в її центрі потенціал  $d\phi_1 = dq/(4\pi\epsilon_0r)$ . Цей заряд  $dQ$  розподілений уздовж поверхні кулі й створює в центрі потенціал  $d\phi_2 = dQ/(4\pi\epsilon_0R)$ . В електростатичному наближенні загальний потенціал у центрі кулі  $d\phi = d\phi_1 + d\phi_2$  дорівнює нулеві (куля заземлена). Отже,  $dQ = -(R/r)dq$ . Знак „-” означає, що наведений заряд протилежний до заряду електронів і є додатним. У нашому випадку для оцінки загального наведеного заряду  $Q$  виділімо вздовж осі пучка, яка проходить через центр сфери, вузьку частину площею перерізу  $s \ll \pi R^2$ . Зрозуміло, що заряд  $Q_s$ , який наводиться цією частиною, буде меншим від  $Q$  (рис. 5). Введемо координатну вісь із центром у центрі сфери вздовж осі пучка.

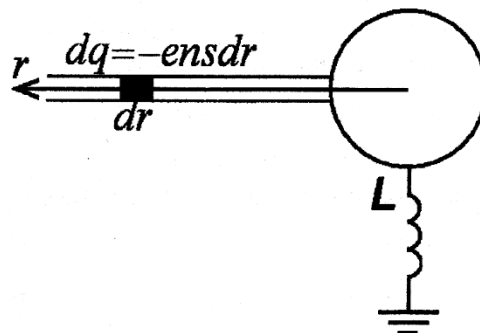


Рис. 5

Проінтегруймо по координаті  $r$  від  $R$  до  $r_{\max}$ , де  $r_{\max}$  – відстань від центра кулі до кінця пучка.

$$Q_s = -\int_0^q \frac{R}{r} dq = ensR \int_R^{r_{\max}} \frac{dr}{r} = ensR \ln \frac{r_{\max}}{R}.$$

З останнього виразу видно, що якщо пучок нескінченно довгий  $l = r_{\max} - R \rightarrow \infty$ , то наведений заряд прямує до нескінченості, тобто нехтувати ним порівняно з  $q_{\max}$  ніяк не можна. Врятувати нашу модель можна, якщо вважати пучок обмеженим, довжина якого  $l$  має бути великою порівняно з радіусом кулі  $R$  ( $l \gg R$ ). У цьому випадку пучок буде нагадувати за формою саме пучок, а не якийсь млинець. Зазначмо, що умові задачі відповідають тепер щонайменше дві реалізації:

1. Електронний пучок завдовжки  $l$  рухається з нескінченості;
2. Електронний інжектор перебуває на відстані  $l \gg R$  від поверхні кулі (нескінченість розуміємо у фізичному сенсі, як віддаль, що значно перевищує характерні розміри системи).

Розгляньмо докладніше першу можливість. Наведений на кулі заряд  $Q$  можна оцінити за допомогою виразу для  $Q_s$ , якщо припустити, що  $s = S = \pi R^2$ . Отримаємо

$$Q = enSR \ln[(l + R)/R] \approx enSR \ln(l/R) \ll q_{\max},$$

звідки знайдімо обмеження на довжину пучка:

$$l \ll R \cdot \exp\left(\nu \sqrt{4\pi\epsilon_0 \frac{L}{R}}\right).$$



Як видно, довжина пучка залежить від швидкості електронів. Для кулі, діаметром 10 см, заземленої через індуктивність 1 мГн, виконуються два обмеження на швидкість електронів

$$v \gg v_1 = 10^5 \text{ м/с} \quad \text{і} \quad v \ll c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Для оцінки довжини пучка візьмімо швидкість, яка максимально відрізняється від обох граничних значень. З умови  $v_1/v = v/c \ll 1$  знаходимо  $v = \sqrt{v_1 c} \approx 5,5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  (до такої швидкості електрони прискорює напруга порядку 100 В). Отже,  $l \ll 180 \text{ м}$ , тобто довжина пучка має дорівнювати декільком метрам. Тоді кількість періодів коливань на графіку залежності  $I(t)$  дорівнює

$$N = \frac{l}{vT} = \frac{l}{2\pi v \sqrt{4\pi \epsilon_0 RL}} \ll 80,$$

тобто реально лише декілька періодів при відрізаних значеннях радіуса кулі та ємності. Яким буде графік після того, як пучок закінчиться? Слід зазначити, що в момент закінчення пучка будуть присутні як деякий заряд на кулі, так і деякий струм через котушку. Тому коливання в контурі триватимуть, причому навколо нульового значення струму, оскільки стала складова струму, створена пучком, буде відсутня. Записавши вираз для енергії електричного поля конденсатора і магнетного поля котушки в момент  $t_k$  закінчення пучка

$$W = q^2(t_k)/(2C) + LI^2(t_k)/2 = LI_{mn}^2/2,$$

отримаємо нову амплітуду коливань струму

$$I_{mn} = 2envS|\sin(\omega t_k/2)|.$$

Оцінімо також обмеження, за яких заряд кулі справді не буде впливати на пучок електронів, змінюючи їхню концентрацію і швидкість і зводячи нанівець всі наші розрахунки. Вплив заряду кулі буде неістотним, якщо потенціальна енергія електрона в електростатичному полі кулі буде значно меншою від його кінетичної енергії, тобто

$$e|q_m|/(4\pi \epsilon_0 R) \ll mv^2/2,$$

звідки одержуємо умову на швидкість:

$$v \gg \frac{ne^2 R^{3/2}}{m} \sqrt{\frac{\pi L}{\epsilon_0}}.$$

Для  $R = 10 \text{ см}$ ,  $L = 1 \text{ мГн}$ ,  $n = 10^{10} \text{ м}^{-3}$  (дуже мала концентрація) швидкість, як і раніше, має істотно перевищувати величину порядку  $10^5 \text{ м/с}$ .

Автори статті не вважають, що під час олімпіади учасники мають надавати докладний аналіз умов застосовності розв'язку задач, які подібні за складністю до цієї. Але хоча б згадати про такі важливі чинники, як, зокрема, наведений на кулі заряд, потрібно. Не завадило б спробувати хоча б якісно (або дуже наближено кількісно) оцінити обмеження обраної моделі.

Хочеться привернути увагу читача до одного аспекту іншої задачі тієї ж олімпіади.

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

– як прискорення потяга залежить від його швидкості;

– як його швидкість залежить від часу і від пройденого шляху;

– який час потрібен для досягнення крейсерської швидкості та який буде пройдено шлях;

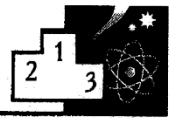
– середнє значення сили тяги потяга впродовж розглянутого часу;

– порівняйте отримані в пункті „в” результати з випадком, коли постійною є не споживана потужність, а сила тяги потяга, яка дорівнює обчисленому в пункті „з” середньому значенню.

Прикро, що більшість учасників олімпіади, не замислюючись, пройшла повз нескінченно велике прискорення потяга в початковий момент часу  $a = P/mv$ , яке формально можна знайти з рівнянь  $F = ma$  і  $P = Fv$ . Безглуздість нескінченного прискорення потягу очевидна для будь-кого. З фізичного погляду нескінченне прискорення вимагає нескінченної сили, яка має діяти на потяг з боку зовнішніх тіл. Інакше вийде не потяг, а лежачий барон Мюнгаузен, який, щоб зрушити з місця, починає нескінченно сильно тягти себе за волосся у напрямку до протилежного кінця тунелю.

У випадку з потягом зовнішньою силою виступає сила тертя між колесами і колією (можливою негоризонтальністю колії нехтуємо). Оскільки коефіцієнт тертя між колесами і колією не може





дорівнювати нескінченності, у початкові моменти часу колеса будуть обов'язково проковзувати. Як довго триватиме проковзування? Врахуймо те, що маса потяга дуже велика і відповідає чималій кількості вагонів (мабуть це вантажний потяг). Якщо потяг розганяється тільки від локомотива, то проковзування може відбуватися досить довго. Оцінімо цей найменш сприятливий для стандартного розв'язку задачі випадок. Припустімо, що маса локомотива становить  $1/20$  від маси потяга, і всі його колеса ведучі. Тоді потяг розганяється

під дією сталої сили, яка дорівнює  $F_m = \frac{1}{20} \mu mg$  з

прискоренням  $\frac{1}{20} \mu g$ . Вважаймо, що проковзування припиниться при швидкості  $v$ , коли ця сила дорівнюватиме  $P/v$ . Прирівнюючи, знайдемо вираз для швидкості  $v$ :

$$v = \frac{20P}{\mu mg}$$

Коефіцієнт тертя в олімпіадній задачі треба було оцінити, ми його взяли з відомого довідника (Енохович А. Н. Справочник по фізиці. – М., 1978). Коефіцієнт зчеплення для коліс локомотива і рейок під час зрушення з місця (рейки сухі й чисті) 0,2–0,25. Візьмімо більше значення 0,25 і підставмо у вираз для швидкості:  $v \approx 36 \text{ м/с} \approx \approx 130 \text{ км/год}$ . Як видно ця швидкість не дуже відрізняється від крейсерської 140 км/год. Отже, цей потяг, за умови задачі, майже весь час розганяється зі сталим прискоренням, до того ж, величезна кількість енергії йде не за призначенням. Припустімо, що всі колеса, які має потяг, ведучі. У цьому випадку проковзування припиниться після досяг-

нення швидкості 6,5 км/год, яка у 20 разів менша від попередньої. Такий режим руху також не дуже реалістичний як для потяга, але щось подібне вже можна побачити на наших асфальтових дорогах, коли молодий водій „рве” з місця потужній автомобіль, залишаючи за собою гумові смуги й усмішки перехожих.

Звичайно, під час такого розв'язку задачі про потяг потрібно було пояснити, чим і чому ми нехтували. Крім негоризонтальності колії, що дуже малоймовірно на вокзалі, звідкіля починається рух, ми нехтували силою опору повітря. В одній роботі це питання було технічно і переконливо проаналізовано з урахуванням навіть геометрії тунелю. Нагадаймо, що цей юний фізик потім був нагороджений спеціальним дипломом за максимальну кількість балів, яку він одержав під час апеляції.

Наведемо найпростішу оцінку. Сила опору повітря найбільша, коли потяг рухається з крейсерською швидкістю  $u$ , і пропорційна до квадрата цієї швидкості, густині повітря  $\rho \approx 1 \text{ кг/м}^3$  і площі поперечного перерізу  $S \approx 10 \text{ м}^2$ . Максимальна потужність, яка витрачається на подолання сил опору повітря,  $P_0 = F_0 u \approx \rho S u^3 \approx 600 \text{ кВт}$ , становить майже 5% від потужності, яку споживає потяг. Отже, силою опору повітря можна знехтувати.

Завжди пам'ятаймо, що фізика – це найточніша модель довколишнього світу з усіх, які винайшло людство. І навіть у тих випадках, коли велика точність нам не потрібна, ми не маємо права забувати про світ, у якому живемо.

## ПІСЛЯМОВА

Звичайно, під час написання статті автори знали про ці явища, але вважали їх не дуже суттєвими. Зрозуміло, що фізична інтуїція авторів не є аргументом. Потрібні переконливіші докази, тим паче, що цього вимагає сама назва статті. Інакше може з'ясуватись, що автори займаються не набагато кращим моделюванням, ніж те, яке критикують.

Розгляньмо насамперед електромагнетне випромінювання, яке виносить із системи частину енергії та ставить під сумнів будь-які розрахунки, що ґрунтуються на законі збереження енергії в коливальному контурі.

*Готуючи матеріали до друку, редакція звернула увагу авторів на деякі фізичні явища, які потребують обговорення або, навіть кількісної оцінки.*

*По-перше, електромагнетне випромінювання. У відкритому коливальному контурі за великих частот на випромінювання може витрачатися відносно значна частка енергії коливачів.*

*По-друге, під час зіткнення електронів з поверхнею кулі можуть виникати вторинні ефекти на зразок рентгенівського випромінювання.*

*По-третє, електростатичне наближення, яке було використане в розрахунках з наведеним зарядом, не виглядає переконливим у задачі на коливання.*



Відомо, що електромагнетне випромінювання виникає, коли заряди рухаються з прискоренням (бувають і винятки, наприклад, черенковське випромінювання). У нашому випадку прискорення виникає, по-перше, коли заряди входять у металеву кулю і гальмують (так зване гальмівне випромінювання), і, по-друге, коли заряди рухаються з частотою  $\omega = 1/\sqrt{LC}$  у самому коливальному контурі.

Розгляньмо електромагнетне випромінювання коливної системи.

Для оцінки потужності електромагнетного випромінювання скористайтесь методом розмірностей, зваживши на те, що потужність електромагнетного випромінювання залежить від частоти коливань  $\omega = 1/\sqrt{LC}$ . Справді, якщо частота  $\omega \rightarrow 0$ , маємо статичний випадок і відсутність електромагнетних коливань.

Від чого ще може залежати потужність?

– Від розмірів коливальної системи. У нашому випадку це радіус кулі  $R$ .

– Від характеристик електромагнетного поля, яке випромінюється. Це електрична і магнетна сталі,  $\epsilon_0$  і  $\mu_0$ . Оскільки їхній добуток пов'язаний зі швидкістю світла  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$  (швидкістю поширення електромагнетних коливань у вакуумі), візьмімо замість магнетної сталі  $\mu_0$  звичнішу швидкість світла  $c$ .

– Нарешті, від амплітудного значення сили струму  $I$ . Адже якщо сила струму в контурі відсутня, ніякого випромінювання не буде.

Отже, вираз для потужності має залежати від згаданих фізичних величин.

$$P = \text{const} \cdot \omega^n R^\alpha \epsilon_0^\beta c^\gamma I^\delta,$$

тут для наближеної оцінки вважають, що безрозмірна стала дорівнює одиниці. Підставмо розмірності та прирівняймо показники степенів за однакових основних одиницях виміру

$$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} = \left(\frac{1}{\text{с}}\right)^n \cdot \text{м}^\alpha \left(\frac{\text{А}^2 \text{с}^4}{\text{м}^3 \text{кг}}\right)^\beta \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^\gamma \text{А}^\delta,$$

$$\begin{cases} \text{кг} & \left\{ \begin{array}{l} 1 = -\beta \\ \text{м} & \left\{ \begin{array}{l} 2 = \alpha - 3\beta + \gamma \\ -3 = -n + 4\beta - \gamma \\ \text{А} & \left\{ \begin{array}{l} 0 = 2\beta + \delta \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{cases}$$

Розв'язуючи систему, знайдемо

$$P = \frac{I^2}{\epsilon_0 c} \left(\frac{\omega R}{c}\right)^n,$$

де  $n$  – показник деякої невідомої додатного степеня. Те, що сила струму увійшла у вираз для потужності випромінювання у вигляді  $I^2$  підтверджує правильність обраних фізичних характеристик. Частина енергії коливань контуру, яка щоперіоду  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  випромінюється у вигляді електромагнетних коливань, є характеристикою контуру і не залежить від сили струму:

$$\frac{PT}{LI^2/2} = \frac{4\pi}{\epsilon_0 c} \sqrt{\frac{C}{L}} \left(\frac{\omega R}{c}\right)^n \approx 0,35 \cdot (2,2 \cdot 10^{-3})^n.$$

Бачимо, що навіть для  $n = 1$  енергією випромінювання можна нехтувати з точністю приблизно одна тисячна. Насправді енергія випромінювання пропорційна другому або вищому степеневі частоти. Пересвідчитись у цьому можна, наприклад, з таких міркувань.

Заряд, який рухається з прискоренням, випромінює. Отже, потужність випромінювання має залежати від прискорення  $a$ , величини заряду  $q$ , електричної сталі  $\epsilon_0$  і швидкості світла  $c$ . Неважко переконатися, що існує єдиний вираз для потужності, який задовольняє зазначеним умовам і вимогам узгодження розмірностей:

$$P = \text{const} \frac{a^2 q^2}{\epsilon_0 c^3}.$$

Причина прискорення може бути різною. Якщо це взаємодія електрона з електричним полем атомів металеві сфери, як у нашому випадку, то завдяки квадратичній залежності від прискорення потужність гальмівного випромінювання буде пропорційна до квадрата відношення заряду атомного ядра металу  $Ze$  до маси електрона  $m$  ( $a = F/m \sim Z/m$ ).



Під час гармонійних коливань у контурі з частотою  $\omega$  положення зарядів змінюється за гармонійним законом  $x = A \sin(\omega t)$ . Щоб визначити прискорення, візьмімо другу похідну за часом

$$a_x = x''(t) = -\omega^2 A \sin(\omega t).$$

Виходить, що прискорення пропорційне до квадрата частоти, тоді потужність – уже четвертому степеневі  $\omega$ . Частка енергії, яка випромінюється щоперіоду, дорівнює  $10^{-11}$ . Це зовсім мізерна величина. Зрозуміло, що насправді все дещо складніше, але у будь-якому разі втратами енергії за рахунок випромінювання в запропонованій системі сфера-катушка можна знехтувати. Якщо вважати, що потужність пропорційна до квадрата частоти, втрати енергії за період становитимуть майже  $10^{-6}$ .

Підвищення ефективності випромінювання це досить важлива технічна задача, яку, зокрема, реалізують, розробляючи антени спеціальної форми. Сфера радіусом 5 см навряд чи є оптимальною антеною для випромінювання стометрових хвиль (довжина хвилі 140 м відповідає обраним значенням радіуса сфери та індуктивності). Отже, докладніші міркування також вказують на можливість нехтування випромінюванням.

За умовою задачі треба було визначити максимальний заряд кулі. У статті в електростатичному наближенні показано, що необмеженій довжині пучка відповідає необмежений наведений заряд на кулі. Але статичне наближення в динамічній задачі деколи має досить сумні наслідки. Прикладів чимало. Один із авторів статті намагався свого часу на сторінках журналу „Світ фізики” з'ясувати умови, за яких можна їхати велосипедом, не тримаючись за кермо\*. Ідея мінімуму потенціальної енергії у положенні стійкої рівноваги, яка цілком слушна у статичному випадку, виявилася хибною, коли мова йшла про рух. Погляньте на рух дзиги, яка не хоче зменшувати своєї потенціальної енергії!

Розгляньмо проблему наведеного заряду докладніше.

Потенціал сфери складається з двох частин: потенціалу, який створює електронний пучок, і потенціалу, який створює розподілений по сфері

заряд. Із наближенням до сфери електронного пучка потенціал, який створює пучок, збільшується за абсолютним значенням (має від'ємний знак). Внаслідок різниці потенціалів із землі до сфери через катушку індуктивності тече струм, що збільшує додатний заряд сфери, який власне і називається наведеним. Потенціал, який створює наведений заряд, тільки частково компенсує потенціал від електронного пучка, оскільки абсолютне значення потенціалу з боку пучка активно збільшується аж до моменту зіткнення пучка з поверхнею сфери.

Визначмо потенціал, який створює пучок електронів у центрі сфери в довільний момент часу  $t$ . Оскільки за умовою задачі швидкість електронів мала порівняно зі швидкістю світла, визначення потенціалу буде таким самим, як і у випадку електростатики:

$$\varphi_1 = \int d\varphi_1 = \int -\frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{ens}{4\pi\epsilon_0} \ln\left(1 + \frac{l}{r_0 - vt}\right),$$

де  $r_0$  – початкова відстань до найближчого кінця пучка,  $t$  – час його руху. Якщо довжина пучка необмежена,  $l \rightarrow \infty$ , і він рухається з нескінченності, потенціал кулі нескінченно довго матиме нескінченне значення порівняно з потенціалом заземлення. За цей час за рахунок струму через катушку заряд кулі суттєво збільшиться. Зрозуміло, що нехтувати цим зарядом ніяк не можна. Отже, для того, щоб врятувати розв'язок, у якому наведеним зарядом все ж таки знехтувано, слід обмежити довжину пучка  $l$ . Найпростішу оцінку цього обмеження (але не найточнішу) можна зробити в електростатичному наближенні. Така оцінка дещо завищує наведений заряд, оскільки виходить з того, що загальний потенціал сфери можна вважати нульовим, що справедливо тільки у разі малої індуктивності. Але ж від оцінки і не вимагають великої точності. Особливо якщо врахувати те, що мова йде про розв'язок олімпіадної задачі.

Наприкінці хотілося б пояснити задум авторів статті. Ми ні в якому разі не збиралися давати вичерпного розв'язку задачі про електронний пучок і сферу. Ми не ставили метою згадати всі фізичні явища, які слід враховувати. Ми хотіли звернути увагу на фізичний зміст задачі, застерегти проти бездумного і формального їхнього розв'язування. За допомогою цієї задачі проілюструвати

\*Див. журнал „Світ фізики”. 2001. № 1. С. 40–43; 2001. № 3. С. 33–37;

розгорнутий розв'язок олімпіадної задачі з мінімальним застосуванням математичного апарату (саме з цієї причини стандартний розв'язок з диференціальним рівнянням було замінено аналогією з коливальним контуром).

На нашу думку, не слід вимагати від олімпійців враховувати такі явища, з якими вони не дуже добре обізнані. Наприклад, кількісний аналіз потужності електромагнетного випромінювання поза межами знань юних фізиків, хоча згадати про електромагнетне випромінювання в цій системі було б доцільно. Врешті з'ясувалося, що і в цьому випадку можна дещо зробити без складної математики, застосовуючи метод розмірностей. Серед інших явищ, які можуть вплинути на розв'язок, слід згадати вторинну електронну емісію (вибивання електронами пучка електронів з кулі), завдяки якій заряд кулі може змінюватись.

Автори вдячні Олександрові Гальчинському, який привернув нашу увагу до аналізу додатко-

вих явищ, оскільки у фізиці будь-які слова мають бути підкріплені розрахунками, а в ідеалі – ще й експериментом.

Задача про електронний пучок і кулю доволі складна насамперед завдяки своїй невизначеності (багато параметрів, і від їх співвідношення залежить той чи інший варіант розв'язку). У таких випадках ми рекомендуємо обрати найзрозуміліший і найвірогідніший варіант, обґрунтувати його, знайти розв'язок і визначити межі застосування. Звичайно, бажано розглянути всі можливі значення параметрів, але на практиці це вимагає багато часу і знань.

Дорогі школярі, бажаємо успіхів і сміливості у виборі варіанта розв'язку задачі! Відомо, що видатний фізик Ерніко Фермі міг майже миттєво давати оцінкові відповіді на найрізноманітніші питання і майже ніколи не помилявся.

Учіться швидко виявляти найголовніші фізичні чинники, відкидати другорядні й бачити відмінність між ними!

## НОВИНИ ІНТЕРНЕТУ

### Великий вибух через телескоп

У Мексиці ведеться будівництво гігантського телескопа, за допомогою якого науковці сподіваються відкрити нові таємниці Всесвіту.

Великий міліметровий телескоп (Large Millimeter Telescope), або LMT, будують на вершині загаслого вулкана С'єрра Нєгра (Sierra Negra) у центральній Мексиці на висоті майже 4,5 км. Місце вибрали з урахуванням висоти і помірного клімату – міліметрові телескопи найкраще працюють там, де достатньо низький відсоток водяної пари у повітрі.

Телескоп зможе вловлювати електромагнетне випромінювання, породжене „Великим вибухом” 13,7 млрд років тому, коли утворилася наша галактика. Це випромінювання також відоме як „міліметрові хвилі”.

Випромінювання, довжина хвилі якого 1–3 мм, унікальне. Воно не відхиляється під впливом космічного пилу і не слабшає з відстанню. Це дає змогу дослідникам чіткіше вивчати слабкі об'єкти.

Із діаметром антени 50 метрів LMT перевершить своїми характеристиками будь-який з побудованих досі міліметрових телескопів. Він зможе реєструвати сигнали від найслабших об'єктів у космосі. Наприклад, з його допомогою можна буде зловити сигнал стільникового телефону з Місяця, якщо, звичайно, хто-небудь звідти зателефонує.

Телескоп почне працювати з 2007 року. Науковці Національного інституту астрофізики (Instituto Nacional de Astrofísica) сподіваються, що дослідження, які проводитимуться за допомогою LMT, допоможуть докладніше вивчити розвиток Всесвіту.

[www.hitech.compulenta.ru](http://www.hitech.compulenta.ru)



## „Задачі з фізики” за редакцією О. Савченка

Віталій Магеря,

студент першого курсу фізичного факультету  
Дніпропетровського національного університету,  
випускник ліцею „САМАРА”, м. Новомосковськ

Уже не перше покоління учнів користуються книжкою „Задачі з фізики” за редакцією О. Савченка як одним із найкращих збірників задач для підготовки до олімпіадних змагань з фізики. І справді, композиція книжки, що містить всі розділи шкільної фізики, та добірка задач, від простих до складних і цікавих, роблять цю книжку майже незамінною.

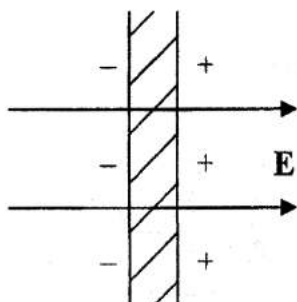
Утім кожний, хто намагався розв’язати певну кількість задач з цього збірника, міг помітити, що в деяких місцях трапляються неточності, деколи описки, і навіть – насправді неправильно розв’язані задачі.

Щодо описок і неточностей, то їх у книжці кілька десятків, а ось неправильно розв’язаних задач – усього декілька. Одну з таких задач розглянемо далі.

### Задача № 6.6.17

В однорідне електричне поле напруженості  $E$  внесли тонку пластинку з діелектричною проникністю  $\epsilon$ . Товщина пластинки  $d$ , її площа  $S$ . Знайдіть момент сил, що діє на пластинку, якщо нормаль до пластинки і напрямок поля знаходяться під кутом  $\alpha$  одне до одного. Яку роботу потрібно виконати, щоб розмістити пластинку перпендикулярно до поля?

Стандартний підхід полягає ось у чому.



Відомо, що діелектрик, який перебуває в електричному полі, поляризується (на одному його боці з’являється додатний заряд, на протилежному – від’ємний). Причиною є те, що заряди в діелектрикові, хоча і зв’язані, але під дією поля зміщуються від положення рівноваги: додатні заряди зміщуються в напрямку поля, від’ємні – проти.

Наведений заряд такий, що поле в середині діелектрика в  $\epsilon$  разів менше від  $E$ . А оскільки відомо, що дві рівномірно заряджені нескінченні пластини різного знака з поверхневою густиною заряду  $\sigma$  створюють поле між ними з напруженістю  $\sigma/\epsilon_0$ , то:

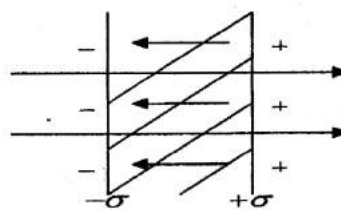
$$\frac{E}{\epsilon} = E - \frac{\sigma}{\epsilon_0} \Rightarrow \sigma = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \epsilon_0 E$$

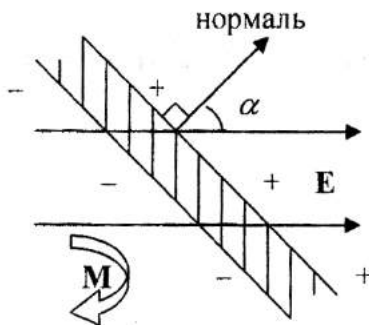
(Наші пластини – поверхні діелектрика).

У випадку, коли поле не перпендикулярне до поверхні, наведені заряди будуть такими самими, як і за наявності перпендикулярного поля, що дорівнює нормальній складовій цього поля ( $E \cos \alpha$ ). Отже, поверхнева густина заряду в цьому випадку буде:

$$\sigma = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \epsilon_0 E \cos \alpha$$

Наведені заряди перебувають у зовнішньому електричному полі. Сили, які діють на них з боку поля, можна також розкласти на складові: перпендикулярні до поверхні й дотичні до неї.





Перпендикулярні (нормальні) складові не викликають обертального моменту, а лише розтягують діелектрик. Тангенціальні складові утворюють пару сил, момент якої є добутком такої сили, що діє на заряд одного боку діелектрика, і товщини пластини:

$$M = \sigma E S d \sin \alpha = \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \epsilon_0 E^2 S d \cos \alpha \sin \alpha = \frac{\epsilon - 1}{2\epsilon} \epsilon_0 E^2 S d \sin(2\alpha)$$

Відповідно до цього робота, яка потрібна для переміщення пластини з положення під кутом  $\alpha$  до поля до положення з  $\alpha = 0$  (тобто до положення „перпендикулярно“):

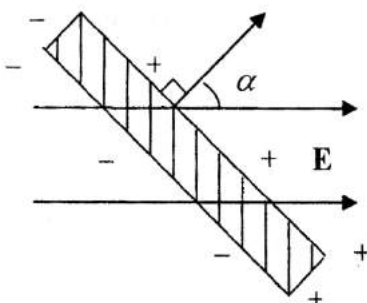
$$A(\alpha) = \int_{\alpha}^0 M(\alpha) d\alpha = -\frac{\epsilon - 1}{2\epsilon} \epsilon_0 E^2 S d \sin^2 \alpha$$

Остаточна відповідь.

Момент сил дорівнює  $\frac{\epsilon - 1}{2\epsilon} \epsilon_0 E^2 S d \sin(2\alpha)$ ;

робота  $-\frac{\epsilon - 1}{2\epsilon} \epsilon_0 E^2 S d \sin^2 \alpha$ .

Ця відповідь збігається з наведеною в збірнику. Але, чи вона правильна? Адже, якщо навіть розглядати пластину, як „тонку”, все одно якась час-



тина наведеного заряду міститиметься і на краях (Оскільки  $E$  зміщує заряди паралельно до себе, заряди на кінцях пластини будуть мати знаки як зображено на рисунку).

Можливо, величина наведеного заряду на краях мала, але плече сили, яка діє на цей заряд, – велике, багато більше від товщини пластини (вона тонка!), тобто момент сил, яким ми знехтували, може бути і не малим. Підрахувати його легко: потрібно взяти ту ж формулу, але замість  $\alpha$  підставити  $-\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)$ , також потрібно взяти нові „товщину пластини” і „площу сторони”. Але оскільки останні входять до виразу для моменту як добуток  $Sd$ , об’єм пластини, який залишається незмінним, момент дорівнюватиме:

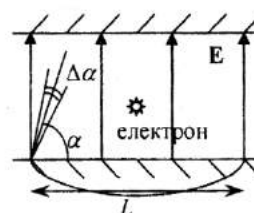
$$-\frac{\epsilon - 1}{2\epsilon} \epsilon_0 E^2 S d \sin(2\alpha)$$

Тобто величина моменту та ж сама, просто напрямком інший, а, отже, повний момент сил, що діє на пластину – нуль, отже, і робота для переміщення пластини в положення, перпендикулярне до поля, теж нуль.

Тобто якщо не хтувати „тонким” краєм пластини, результати виходять зовсім інші. До речі, результат про відсутність роботи очевидний для пластини, у якій товщина дорівнює висоті (для „не тонкої”). Наприклад, для куба: якщо повернути його на  $\pi/2$ , отримаємо ту ж саму картину, отже, робота дорівнює нулеві.

### Задача № 7.1.25

Одна з пластин плоского конденсатора випускає електрони енергії  $K$  під кутом  $\alpha$  до площини пластини (кутовий розкид електронів  $\Delta\alpha$  малий). Електрони повертаються під дією електричного поля конденсатора і знову потрапляють на пластину. Яким має бути кут  $\alpha$ , щоб ділянка, на яку потрапляють електрони, була мінімальною? Оцініть розмір цієї ділянки.





Простий розв'язок полягає ось у чому. По-перше, знехтуймо впливом електронів на самих себе, і впливом на них усіх інших сил (наприклад, сили тяжіння) за винятком сили з боку електричного поля конденсатора. По-друге, поле конденсатора  $E$  вважаймо однорідним, отже, рух електронів – рівноприскорений. Прискорення електронів визначмо з другого закону Ньютона, він до-

рівнюватиме  $\frac{q_e E}{m_e}$ ,

де  $q_e$  і  $m_e$  – модуль заряду та маса електрона, відповідно.

Як відомо, дальність польоту:

$$L(\alpha) = \frac{V^2}{\frac{q_e E}{m_e}} \sin(2\alpha) = \frac{m_e V^2}{q_e E} \sin(2\alpha),$$

де  $V$  – початкова швидкість електрона. Skorистаймось виразом для кінетичної енергії  $K = \frac{m_e V^2}{2}$ .

Отже,

$$L(\alpha) = \frac{2K}{q_e E} \sin(2\alpha).$$

Знаючи  $L(\alpha)$ , можна знайти довжину ділянки  $\Delta L$ , на яку потрапляють електрони. Вона для малих  $\Delta\alpha$  дорівнює:

$$\Delta L(\alpha) \approx \frac{dL}{d\alpha} \Delta\alpha = \frac{4K}{q_e E} \cos(2\alpha) \Delta\alpha.$$

Цей вираз може бути і від'ємним. Це означає, що не початок, а кінець ділянки буде ближчим до початкової точки руху. Найменше за модулем значення довжини ділянки – нуль, відповідає  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ .

Звичайно, довжина ділянки не дорівнює нулеві –

просто вираз  $\frac{dL}{d\alpha} \Delta\alpha = 0$  є наближеним значенням

$\Delta L$ . Насправді

$$\Delta L(\alpha) = \frac{dL}{d\alpha} \Delta\alpha + \frac{d^2 L}{d\alpha^2} \frac{(\Delta\alpha)^2}{2!} + \frac{d^3 L}{d\alpha^3} \frac{(\Delta\alpha)^3}{3!} + \dots,$$

де в нашому випадку похідні беруться в точці  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ . Коли перший доданок – нуль, довжину

ділянки дає другий (наступні не враховуємо – во-

ни набагато менші від другого, оскільки  $\Delta\alpha \ll 1$  за умовою). Отже,

$$\begin{aligned} \Delta L &= \frac{d^2 L}{d\alpha^2} \frac{(\Delta\alpha)^2}{2} = -\frac{4K}{q_e E} \sin(2\alpha) (\Delta\alpha)^2 = \\ &= -\frac{4K}{q_e E} (\Delta\alpha)^2 \end{aligned}$$

Знак „-“ не суттєвий, відповідно найменшою ділянкою буде при  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ , і довжина її становитиме

$\frac{4K}{q_e E} (\Delta\alpha)^2$ . Ця відповідь збігається з наведеною

в збірнику, але не відповідає дійсності. Справді, мінімальною ділянкою буде, якщо  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ , але її довжина буде в чотири рази менша.

Підказку для правильного розв'язку можна побачити в тому, що вираз для  $\Delta L$  має від'ємний знак. Це означає, що електрони вилітають у проміжку кутів від  $\frac{\pi}{4}$  до  $\frac{\pi}{4} + \Delta\alpha$ . Середина цього проміжку відрізняється від  $\frac{\pi}{4}$ , і тому такий розв'язок не є оптимальним.

Якщо  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ , електрони мають вилітати в про-

міжку кутів від  $\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \Delta\alpha$  до  $\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \Delta\alpha$ , яким відповідає одна й та ж дальність польоту

$$\begin{aligned} L\left(\frac{\pi}{4} \pm \frac{\Delta\alpha}{2}\right) &= \frac{2K}{q_e E} \sin\left(\frac{\pi}{2} \pm \Delta\alpha\right) = \\ &= \frac{2K}{q_e E} \cos(\Delta\alpha) \end{aligned}$$

Оскільки дальність польоту, що відповідає кутіві  $\frac{\pi}{4}$ , дорівнює

$$L\left(\frac{\pi}{4}\right) = \frac{2K}{q_e E} \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = \frac{2K}{q_e E},$$

довжина ділянки:

$$\Delta L = \frac{2K}{q_e E} [1 - \cos(\Delta\alpha)] \approx \frac{K}{q_e E} (\Delta\alpha)^2$$

у чотири рази менша за надану в збірнику.



Основна помилка першого розв'язку пов'язана з тим, що в записі  $\Delta L(\alpha) \approx \frac{dL}{d\alpha} \Delta\alpha$  (і далі в розвиненні функції у степеневий ряд) приріст функції  $\Delta L$  відповідає відстані від  $L(\alpha)$  до  $L(\alpha + \Delta\alpha)$ , яка не зобов'язана бути найменшою для цього приросту аргументу  $\Delta\alpha$ . Насамперед це стосується максимуму і мінімуму функції, коли перша

похідна дорівнює нулеві і  $\Delta y = \frac{y''(x_0)}{2} (\Delta x)^2$ . Зрозуміло, що відхилення аргументу в різні боки від точки екстремуму  $x_0$  (різні знаки  $\Delta x$ ) призводять до однакового  $\Delta y$ . Отже, знайдене так  $\Delta y$  є амплітудою зміни функції зі зміною аргументу від  $x_0 - \Delta x$  до  $x_0 + \Delta x$ , тобто відповідає інтервалові  $2\Delta x$ . З цього можна зробити висновок, що

$$\Delta y_{\min} = \frac{|y''(x_0)|}{2} \left(\frac{\Delta x}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} |\Delta y|.$$

## Коментар редакції

Проблеми, порушені в статті, вимагають додаткового обговорення.

Питання, які виникли під час розв'язування задачі 6.6.17, можна пояснити так. Залежно від умов поляризації діелектрика, індукований у нього дипольний момент матиме різні властивості.

Якщо поляризація „пружна”, тобто така, яка швидко створюється електричним полем і швидко зникає, коли зовнішнє електричне поле перестав діяти. У цьому випадку індукований дипольний момент миттєво відстежує напрямок зовнішнього електричного поля. З наведених міркувань зрозуміло, що кут між векторами електричного поля і поляризації дорівнює нулеві, тобто електричний момент, який діє на такий діелектрик з боку електричного поля дорівнюватиме нулеві. За цих умов, робота, яку слід виконати для переорієнтації пластинки такого діелектрика, теж дорівнюватиме нулеві.

Якщо ж діелектрик матиме здатність тривалий час зберігати свою поляризацію після зняття електричного поля, в якому він поляризувався (його дипольний момент матиме сталий напрямок відносно орієнтації пластинки й зберігатиметься тривалий час, тобто є електретом)\*, на нього, коли він потрапить знову в електричне поле, діятиме момент сили:

$$M = qdE \sin \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут між напрямком зовнішнього електричного поля та дипольного момента. Для повороту такої пластинки у просторі потрібно виконати роботу  $A = \int M d\varphi$ .

Тобто конкретний розв'язок цієї задачі потребує вичерпнішої інформації про властивості дипольного момента, створеного в діелектричній пластинці, ніж подано в умові задачі.

Щодо проблем, які з'явилися під час розв'язування задачі 7.1.25, вони, на нашу думку, пов'язані з різним трактуванням автором статті такого поняття, як кутовий розкид електронів  $\Delta\alpha$  у першому та другому варіантах розв'язку задачі. Якщо ж у першому варіанті розв'язку припустити, що розкид пучка електронів від осі дорівнює  $\pm \frac{\Delta\alpha}{2}$ , утворюючи кутовий розкид  $\Delta\alpha$ , так як це зроблено у другому варіанті розв'язку задачі, то жодної суперечності між отриманими результатами не буде.

І, наприкінці, дякуємо авторові за те, що він привернув увагу читачів журналу „Світ фізики” до таких важливих і фізично цікавих проблем.

**Олександр Гальчинський**

\*Про методи створення електретного стану читайте в журналі „Світ фізики” (1997, № 1, с. 1–7).



## Захисні технології

**Р**ано чи пізно будь-яке цивілізоване суспільство переходить на той ступінь розвитку, коли усвідомлює, що оригінальну продукцію треба захищати від підробок. Цей процес може бути зумовлений двома чинниками. Перший: розуміння виробників товарів, що, крім очевидної конкуренції, вони змушені боротися ще й з тінювиками, які завдають шкоди відомим компаніям. Другий: коли покупці розуміють, що набагато вигідніше купувати лише справжню продукцію, а не ризикувати здоров'ям через підроблені товари.

Цю проблему можна розв'язати лише, створивши надійний захист від підробок.

Війна з фальсифікатором триває не одне століття. У музейних колекціях можна побачити фальшиві монети, виготовлені ще за часів Давньої Греції. А до появи монет у Мексиці, коли зерна какао використовували як гроші, підробляли навіть їх: менш цінні бобові вкладали у стручки какао та заклеювали. Сьогодні є величезна кількість методів захисту, починаючи від графічних хитрощів та водяних знаків і закінчуючи голограмами. Останні є найсучаснішою зброєю проти тінювиків.

Застосування голографічного захисту стало можливим лише завдяки розвитку голографічної промисловості, яка вже понад 10 років активно створює системи захисту товарів від підробок з використанням технології райдужної голографії. Голограма сьогодні – це і художній твір, і водночас ефективна зброя в боротьбі з тінювим бізнесом. Ефективність голографічного захисту зумовлена тим, що голограма містить цілий комплекс елементів, які неможливо підробити. За допомогою цієї технології можна одержати виконані за індивідуальним дизайном голографічні зображення, що переливаються всіма барвами веселки, візуальний ефект об'ємності, глибини зображення, що робить цей елемент упакувань чи етикеток ще й засобом для привернення уваги споживача до продукту; оптичні мікротексти з висотою літер від 30 до 200 мкм, які можна прочитати лише за допомогою спеціальної оптики. До того ж, створення голограм на саморуйнівному матеріалі – це найліпший спосіб контролю доступу до вмісту

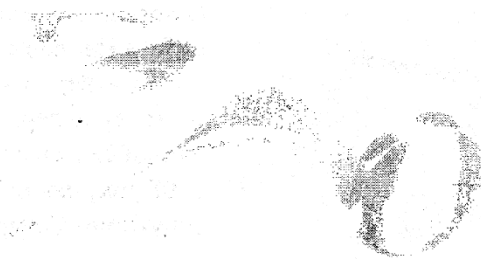
упакувань, оскільки голографічне зображення руйнується під час переклеювання етикетки.

Слово „голографія” походить з грецької – *holos* – „повний” і *grapho* – „запис”. Засновником голографії є професор Державного коледжу в Лондоні Денніс Габор, який 1947 року отримав першу голограму під час експериментів зі збільшенням розпізнавальної здатності електронного мікроскопа. Назвою „голографія” Габор відзначив, що метод дає змогу зареєструвати повну інформацію про об'єкт, який вивчають.

Голографія почала швидко розвиватися і набула великого практичного значення після того, як 1960 року створили перший лазер. За допомогою імпульсного лазера на рубіні 1967 року було виготовлено перший голографічний портрет людини.

Початком образотворчої голографії вважають 1962 рік, коли Еммет Лейт та Юріус Упатнієкс з Мічиганського технологічного інституту виготовили першу об'ємну прозору голограму, зображення з якої відновлюється у лазерному світлі. У 1960–1970 рр. Ю. М. Денисюк уперше отримав так звану „товстошарову” голограму, яка дає змогу відтворювати зображення в білому світлі. А вже 1969 року Стівен Бентон з Polaroid Research Laboratories (США) виготовив райдужну голограму, яка так само видима в білому світлі й переливалася всіма барвами веселки. Відкриття Бентона дало змогу розпочати масове виробництво недорогих голограм через „перенесення” інтерференційних картин на пластикову основу.

Ллойд Кросс 1977 року отримав мультиплексну голограму. Вона є різновидом райдужної голограми і складається з великої кількості звичайних фотовідбитків об'єктів, які були зняті під різними кутами в горизонтальній площині. Переміщаючи таку голограму, в полі зору можна побачити всі зняті кадри.



Сьогодні поняття „голограма” та „захищена якість” сприймають як синонімічні, що вкотре підтверджує успіх практичного застосування цієї технології. Проте варто наголосити, що голограма – це засіб візуального визначення автентичності товару. Що ж стосується самої якості продукту, то це питання потрібно ставити виробникові.

На теренах України лідером голографічної промисловості справедливо вважають Спеціалізоване підприємство „Голографія”, яке відомо в усьому світі завдяки своїм висококваліфікованим фахівцям у галузі оптики, які у своїй роботі використовують найсучасніше обладнання й технології.

Тіньовий ринок серйозно похитнувся, коли рік тому в обіг було введено марки акцизного збору нового зразка – з голографічним захистом. Цей крок було зроблено, щоб створити сприятливі умови для легальних виробників тютюнової та алкогольної продукції, а також для захисту прав споживачів від фальсифікату (зазначмо, що 10,5 тисячі українців отруїлися за 2003 рік унаслідок споживання неякісного алкоголю).

Спеціалізоване підприємство „Голографія” за чотири роки свого існування виконало понад 200 державних та комерційних голографічних проєк-

тів. Продукцію підприємства використовують у дванадцяти країнах світу. На VI Міжнародній конференції фахівців з оптичної голографії цю компанію долучено до п'ятірки світових лідерів за рівнем складності та естетичного оформлення голографічної продукції.

Торік, після введення нових акцизних марок, до бюджету України було додано 4,7 млрд гривень (це на 1,1 млрд більше, ніж 2002 року). Зберігаючи таку тенденцію, 2004-й рік принесе від п'яти до шести мільярдів гривень.

Отже, супротив опонентів, кількість підробленого товару в крамницях знижується, а кількість виготовлених голограм зростає. Нині їх випущено вже вісім мільярдів – це більше, ніж у будь-якій країні Європи.

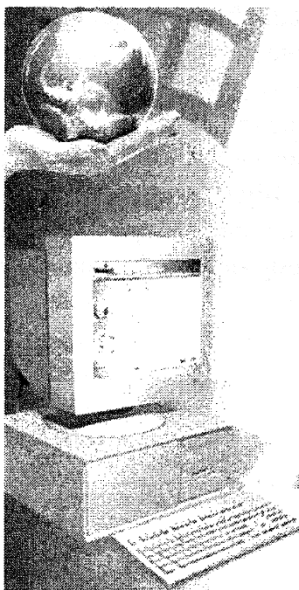
Щодо планів на майбутнє, то тут відкриваються нові перспективи. Голограма також може бути не лише захисним елементом, а й носієм важливої інформації. Опанувавши випуск художніх голограм, компанія має змогу виконувати індивідуальні замовлення. Немає сумніву, що образотворча голографія в майбутньому посяде чільне місце в житті людей.

Тетяна Соколова

## НОВИНИ ІНТЕРНЕТУ

### Учені знайшли нове кільце Сатурна

Британські науковці за допомогою космічного зонда Cassini знайшли ще одне кільце Сатурна і, можливо, один-два нових об'єкти, які рухаються орбітою навколо планети.



Знахідки зроблені в районі кільця *F* Сатурна. Знайдене 1 липня 2004 року кільце розташоване на 138 тис. км від центра Сатурна в районі орбіти Атласу, між кільцями *A* і *F*. Діаметр нового кільця – приблизно 300 км.

Рухомий малий об'єкт знайшли поблизу зовнішнього краю кільця *F*, у середині орбіти Пандори – супутника Сатурна. Вперше його побачив професор Карл Мюррей (Carl Murray) з Лондонського університету на світлинах, які зроблені зондом Cassini 21 червня 2004 року.

За попередніми даними, знайдений об'єкт є новим супутником. Дослідникам вдалося обчислити параметри орбіти цього об'єкта. Якщо це супутник, то його діаметр дорівнює 4–5 км, а від кільця *F* його відділяють 1000 км. Відстань від центра Сатурна до цього об'єкта дорівнює 141 тис. км, а до орбіти Пандори – 300 км. Поки що об'єкт тимчасово назвали S/2004 S3.

Якщо версія учених, що цей об'єкт є супутником Сатурна, підтвердиться, то це стане першим випадком виявлення нового супутника біля планет Сонячної системи за 100 років. Востаннє таке відкриття дослідники зробили 1908 року, коли був знайдений один із супутників Юпітера. Нині відомо 33 супутники Сатурна.

[www.physics03.narod.ru](http://www.physics03.narod.ru)

В. Алексейчук, О. Гальчинський, Г. Шопа. **Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки.** – Львів: Євросвіт, 2004. – 184 с. (Друге видання, перероблене й доповнене). Із серії книжок „Бібліотека „Світ фізики”.



Книжка містить умови та розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнських олімпіад з фізики (1993–2004). У книжці – 240 задач та їхні розв'язки, подано також рисунки, графіки, коментарі. У додатках наведені методи наближеного обчислення фізичних величин, математичні формули, таблиці фізичних величин тощо.

Для вдосконалення навичок самостійного розв'язування задач з фізики, підготовки до олімпіад та інших творчих змагань школярів.

Фрейн М. **Копенгаген**/ Перекл. з англ. О. А. Ровенчак і А. А. Ровенчака; за ред. І. О. Вакарчука та М. О. Зубрицької. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2004. – 176 с.

У п'єсі описано зустріч двох визначних фізиків ХХ ст. – Нільса Бора та Вернера Гайзенберга – у Копенгагені восени 1941 р. Об'ємна Післямова й Післямова до післямови дають картину подій, пов'язаних з відкриттями атомної фізики у 1930–1940 рр., які привели, зокрема, до створення ядерної зброї. Розкрито суперечливість поглядів безпосередніх учасників тих подій і всіх, хто займався їх дослідженням. Роздуми героїв дають змогу людині будь-якого фаху відчути себе втаємниченим у пошуки розв'язання вічної дилеми вибору, вибору між людяністю і професіоналізмом, між співчуттям і амбіціями.

Для всіх, хто цікавиться питаннями моралі в науці, історією Другої світової війни, а також історією фізики ХХ ст.

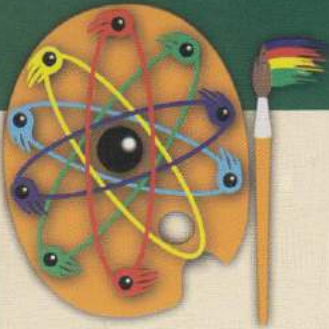


## ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

### НАУКОВУ ТА НАВЧАЛЬНУ ЛІТЕРАТУРУ:

1. Астрономічний енциклопедичний словник / За ред. І. Климишина, А. Корсунь. – Львів, 2003. – 548 с.: іл.
2. Марія Деленко. Кольорова пісня слова. Дидактичні матеріали для 5-го класу (українська мова). – Львів: Євросвіт, 2003. – 76 с.
3. Всеукраїнські олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки. За ред. Б. Кремінського. – Львів: Євросвіт, 2003. – 232 с.
4. Краус Іво. Вільгельм Конрад Рентген. Нащадок щасливої випадковості/ Пер. з чеської В. Іванової-Станкевич. – Львів: Євросвіт, 2002. – 84 с.: іл.
5. Біланюк Олекса. Тахіони. – Львів: Євросвіт, 2002. – 160 с.: іл.
6. Іван Вакарчук. Квантова механіка. Підручник. – 2-ге вид., доп. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2004. – 784 с.
7. Іван Вакарчук. Теорія зоряних спектрів. Навчальний посібник. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2002. – 359 с.
8. Іван Вакарчук. Вступ до проблеми багатьох тіл. Посібник. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 1999. – 220 с.
9. Іван Болеста. Фізика твердого тіла. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2003. – 480 с.
10. Довгий Ярослав. Чарівне явище надпровідність. – Львів: Євросвіт, 2000. – 440 с.

Приймаємо замовлення за адресою:  
„Євросвіт”, м. Львів, 79005, а/с 6700  
phworld@franko.lviv.ua



МИСТЕЦЬКА  
СТОРІНКА  
ЖУРНАЛУ  
"СВІТ ФІЗИКИ"

**К. Д. Трохименко  
(1885–1979).  
Над Великим  
шляхом.**

1926. Картон, олія.



Невеликий твір Карпа Трохименка «Над Великим шляхом» (початкова назва «Краєвид Дніпра з Іванової гори») знаменний у багатьох відношеннях. Він свідчить про несхитну відданість реалістичним традиціям, яку прищеплювала своїм учням Київська рисувальна школа М. Мурашка і яку зміцнило навчання в Петербурзькій академії мистецтв, зокрема в М. Самокиша. «Моєю давньою мрією було оселитися на деякий час на березі Дніпра, щоб помалювати», писав К. Трохименко у своїх спогадах. Закоханість художника краєвидом передається глядачеві. Полотно захоплює своїм епічним, пісенним розмахом. Тут багато простору, хвилюючої даліни. Композиція наповнена рухом: від глядача поле стрімко скочується в яр між двома горами, м'які обриси гір на другому плані ритмічно піднімаються до неба, вдалині велично плине Дніпро, і над усім вирують хмари, на тлі яких урочисто сяє веселка. Золото високого стиглого жита, яке жнуть жінки, як головний колористичний ключ, проходить через усю композицію твору. Картина К. Трохименка – це роздум про вічність, про шляхи історії і сучасність нашої України.

**Якщо Ви хочете дізнатись про:**

- сучасні досягнення науки;
- захопливий світ фізики;
- відомих фізиків України та світу

**не забудьте передплатити журнал „Світ фізики” на 2005 рік**

**Передплатний індекс 22577**

