

С В І Т

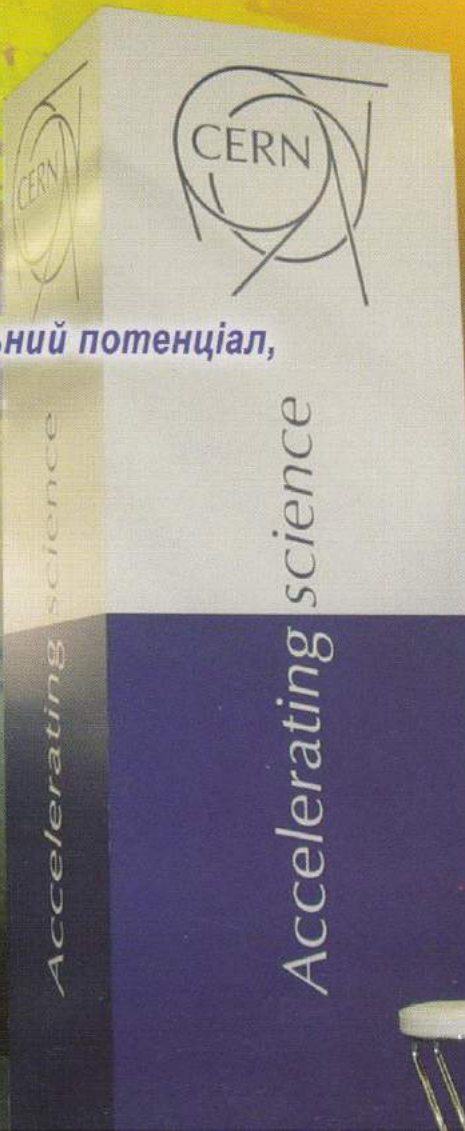
ФІЗИКИ

№3
2012

науково-популярний журнал

15
років журналу

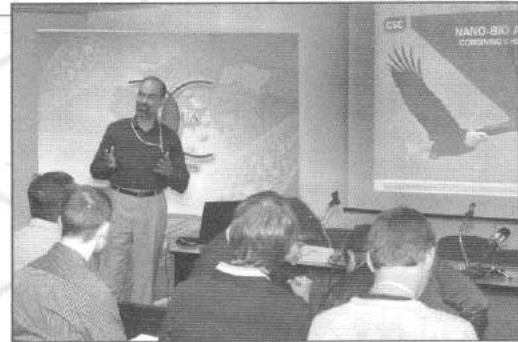
*Ніхто нині не вкладатиме
в український інтелектуальний потенціал,
крім власної держави*



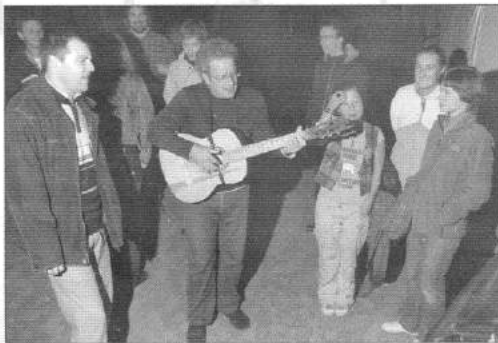


МІЖНАРОДНА ЛІТНЯ ШКОЛА

“НАНОТЕХНОЛОГІЇ: від фундаментальних досліджень до прикладних застосувань”



Доктор Венкат Рао читає лекцію
*"Nano-Bio Architectures: Combining Chemistry
and Biology in Nanotechnology"*



С В І Т Ф І З И К И

науково-популярний журнал

3(59) '2012

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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шона

Редакційна колегія:

Ігор Анісімов

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Олег Орлянський

Максим Стріха

Юрій Ранюк

Ярослав Яшків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор **Мирослава Прихода**

Комп'ютерне макетування та друк
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:

Редакція журналу "Світ фізики"

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

phworld@franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Шановні читачі, дописувачі, члени
редколегії, засновники, працівники
редакції та всі, хто долучився до
творення журналу!

**Вітаємо Вас із 15-річчям
науково-популярного журналу
"Світ фізики".**

Видання популяризує українську науку,
зокрема фізику, серед студентів, школярів,
учителів, науковців та широкого загалу читачів.

На сторінках журналу можна прочитати про
відомих фізиків України та світу, Нобелівських
лауреатів та їхні досягнення у різних галузях
фізики. Школярі та учителі можуть ознайоми-
тися з умовами задач та їхніми розв'язками
олімпіад, турнірів від обласного рівня до між-
народного.

На сторінках видання можуть знайти цікаву
інформацію не лише фахівці, а й ті хто цікави-
ться фізичними процесами, що відбуваються
на Землі та Всесвіті.

Журнал "Світ фізики" пройшов велику до-
рогу становлення у важкі 90-ті роки, коли в
Україні майже не було коштів на видання такого
роду видань українською мовою, й до нині, коли
зацікавлення до природничих наук у молоді ще
більше спадає, державної підтримки немає.

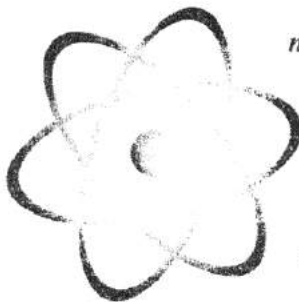
Однак періодичне видання виходить з друку,
на ентузіазмі працює великий колектив з надією
на позитивні зміни в науці та освіті в Україні.

Нині журнал "Світ фізики" – це відоме
видання не лише в Україні, а й далеко за її
межами.

Дякуємо всім за співпрацю та запрошуємо
й надалі подавати до редакції цікаві матеріали.

Запрошуємо нових авторів та меценатів до
співпраці з журналом "Світ фізики".

*Не забудьте
передплатити журнал
"Світ фізики"*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП "Євросвіт"



ЗМІСТ

1. Нові та маловідомі явища фізики

Чулан Наталія, Ровенчак Андрій. Дещо про магнетні монополі
Відкриття космічних променів

3
9

2. Олімпіади, турніри...

Орлянський Олег. Додавання швидкостей і зміна кінетичної енергії
Стефанюк Богдан. Як впливає місяць на добові зміни пришвидшення вільного падіння на Землі?

14
20

3. Актуальні проблеми

Фесенко Олена. Міжнародна літня школа "Нанотехнології: від фундаментальних досліджень до прикладних застосувань"

22

4. Нобелівські лавреати

Шопа Галина. Ще крок до створення квантових комп'ютерів

25

5. Університети світу

Монастирський Любомир. Кафедри радіоелектронного матеріалознавства – 35 років

28

6. Інформація

Шопа Ярослав. Трохи фізики футболу

38

7. Гумор

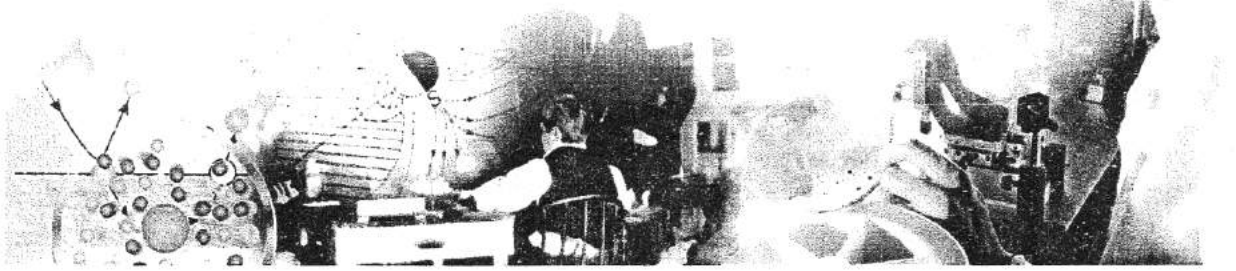
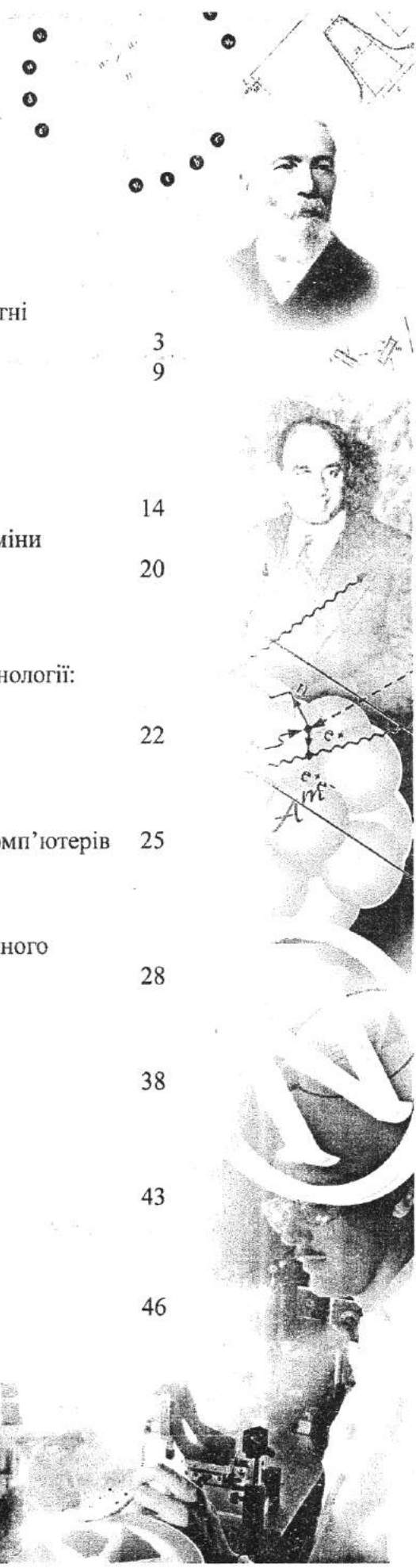
Механіка об'єктів у грі ANGRY BIRDS

43

8. Реальність і фантастика

Легенди

46





ДЕЩО ПРО МАГНЕТНІ МОНОПОЛІ

Наталія Чулан, Андрій Ровенчак,

Львівський національний університет імені Івана Франка

З історії питання

Знайомство людини з електричними й магнетними явищами має різну історію. Хоча вияви електричних властивостей у природі є, напевно, найпоширенішими – насамперед, згадаймо грізні блискавки або існування децю екзотичних для нас електричних риб – все ж ґрунтовніше вивчення почалося з магнетних властивостей.

Слово “магнет” походить від грецького μαγνήτις λίθος ‘магнезійський камінь’. Магнезія (Магнесія, Магнісія, грецьке Μαγνησία) – це область на сході Греції¹, що отримала свою назву від давнього племені магнетів (Μαγνητες). Магнезійський камінь відомий зараз як магнетит (раніше поширеним був термін “магнетний залізняк”), мінерал з хемічним складом $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$.

На згадки про магнетит та магнетні властивості тіл натрапляємо в Теофраста з Ересу (Θεόφραστος, 371–287 до Р. Х.) у праці “Про камені” (там він також згадує про здатність бурштину притягати дрібні предмети) [2]. Китайський міністр часів Імперії Цін на ім’я Лю-ші (呂氏), відомий також як Лю-пу-вей (呂不韦), згадує про магнет у своєрідній енциклопедії Чунь-цю (春秋, Весни й осені)², бл. 239 р. до Р. Х.) [3, 4]. На середину III ст.

¹Можливе походження від такої ж назви міста в Малій Азії (нині Туреччина), поблизу якого було виявлено поклади магнетиту [1]. Етимологічно, однак, вона споріднена з грецькою Магнезією.

²Ця енциклопедія названа за аналогією з хронікою царства Лу (бл. 5 ст. до Р. Х.).

до Р. Х. припадає й початок застосування компаса в Китаї. Опис магнетних властивостей містить також фундаментальна праця “Naturalis Historia” Гая Плінія Старшого (Gaius Plinius Secundus, 23–79).

Вірогідно, першою працею, присвяченою виключно магнетові, була “Epistola de magnetē” (“Лист про магнет”)³, яку 1269 року написав французький схоласт П’єр з Марікура (Петро Перегрін) (Pierre Pelerin de Maricourt; Petrus Peregrinus de Maricourt, XIII ст.) [1]. Перше по-справжньому ґрунтовне дослідження властивостей магнетів зробив Вільям Гілберт (William Gilbert, 1544–1603) у книжці “De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure” (“Про магнет і магнетні тіла і про великий магнет Землю”, 1600) [5].

У цій же книжці Гілберт увів термін “електрика”, що походить від грецького ἤλεκτρον ‘бурштин’, оскільки саме за допомогою натирання бурштину шерстю Фалес (Талес) Мілетський (Θαλής ὁ Μιλήσιος, бл. 624 – бл. 546 до Р. Х.) отримав, мабуть, уперше в історії, матеріал для дослідження статичної електрики.

Попри подібність деяких електричних і магнетних властивостей – здатність притягання й відштовхування – безпосередній зв’язок між електричними й магнетними явищами вдалося встановити лише на початку

³Повна назва: “Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, militem, de magnetē”.



XIX ст. У 1820 році данський фізик Ганс Крістіан Ерстед (Hans Christian Ørsted, 1777–1851), проводячи досліди, зауважив вплив електричного струму на магнетну стрілку компаса [6]. Значна заслуга у створенні теорії електромагнетних явищ належить також французькому фізику Андре-Марі Амперові (André-Marie Ampère, 1775–1836). Цікаво зазначити спільну публікацію на цю тему [7] Ерстеда, Ампера, а також визначного вченого Франсуа Араго (франц. François Jean Dominique Arago; каталонське Francesc Joan Domènec Aragó, 1786–1853).

У 1855–1873 рр. шотландський фізик Джеймс Клерк Максвелл (James Clerk Maxwell, 1831–1879) узагальнив відомі експериментальні факти, щодо електромагнетних явищ, фактично створивши сучасну електродинаміку.

Записані у тривимірному вигляді, рівняння Максвелла є несиметричними щодо електричного (\mathbf{E}) й магнетного (\mathbf{B}) полів [8]. Справді, подивимося на такі два рівняння⁴:

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = 4\pi \rho$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0.$$

Зміст першого з них такий: якщо ми візьмемо обмежену ділянку простору, то число електричних силових ліній (яке визначає електричне поле \mathbf{E}), що вийшли з цієї ділянки, залежить від густини електричного заряду ρ , розташованого усередині неї. Що більший заряд, то більше \mathbf{E} . Загальна кількість магнетних силових ліній, що виходять з довільної ділянки простору, завжди дорівнює нулеві. З вищесказаного випливає, що електричні силові лінії починаються і закінчуються на зарядах, магнетні ж силові лінії ніде не починаються і не закінчуються.

До того ж, якщо вникнути глибше в зміст рівнянь Максвелла, вийде, що електричне поле цілком може існувати без магнетного, а

магнетне без електричного – ні. Фактично рівняння Максвелла вказують на відсутність магнетизму як самостійного явища. Магнетні властивості речовини пов'язані з рухомими електричними зарядами, які одночасно є елементарними носіями і електрики, і магнетизму. Але класична теорія електродинаміки не містить нічого, що пояснювало б таку нерівність електричного і магнетного полів.

Позірна несиметричність рівнянь є насправді значною мірою наслідком запису їх у тривимірному формулюванні, за якого й виникає спокуса ввести магнетний аналог електричного заряду. Цікаво, що коли б ми починали формулювати електродинаміку в межах теорії відносності, взаємозв'язок між електричним і магнетним полями бачився би дещо інакше.

На введення “магнетних зарядів” за аналогією з електричними можна натрапити у праці П'єра Кюрі (Pierre Curie, 1859–1906) [9], де зроблено поклик на аналогічну процедуру з книжки Еме Ваші (Aimé Vaschy, 1857–1899) [10].

Поль Дірак (Paul Adrien Maurice Dirac, 1902–1984), знаменитий фізик-теоретик, який віддав багато сил створенню квантової електродинаміки, був першим, хто припустив – на рівні, вищому за звичайну аналогію, – ймовірність існування частинок, що переносять магнетний заряд і створив квантову модель, яка би пояснювала їхні властивості (оригінальна праця 1931 р. [11]; див. також [12, 13]). Нині ще не має експериментального підтвердження існування *магнетних зарядів*. Але і класична, і квантова електродинаміка не заперечує проти їх введення для повної симетрії в рівняння Максвелла. Такі *магнетні заряди*, або “*монополі*”, мають бути повним магнетним еквівалентом електричних зарядів. Цікавим фактом є те, що введення таких частинок має пояснити дискретну природу електричного заряду.

⁴Тут і далі використовуємо систему СГС.



Подальший наш виклад ґрунтується на тому, що ми припускаємо існування монополів. Це дає змогу записати рівняння Максвелла з деякими поправками щодо магнетних зарядів. У такому випадку ми отримуємо дещо інший вигляд законів збереження заряду, енергії, імпульсу та моменту імпульсу, закону Біо-Савара-Лапласа, а також зможемо записати співвідношення, що пояснюють квантування електричного заряду.

*Physical laws should
have mathematical beauty.*

Paul Dirac

Рівняння Максвелла для випадку існування магнетних зарядів

Система рівнянь Максвелла для електромагнетного поля у випадку, коли б існували магнетні заряди, має вигляд [14]

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = 4\pi \rho. \quad (1.1)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 4\pi \rho_m. \quad (1.2)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} - \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}_m. \quad (1.3)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j}. \quad (1.4)$$

Тут очевидна симетрія:

$$\mathbf{E} \rightarrow \mathbf{B}, \quad \mathbf{B} \rightarrow -\mathbf{E}, \quad \rho \rightarrow \rho_m,$$

$$\rho_m \rightarrow -\rho, \quad \mathbf{j} \rightarrow \mathbf{j}_m, \quad \mathbf{j}_m \rightarrow -\mathbf{j},$$

де густинам струмів електричного і магнетного полів \mathbf{j} і \mathbf{j}_m відповідають розподіли густин зарядів ρ і ρ_m ; \mathbf{E} і \mathbf{B} – напруженість електричного та магнетного полів [12–14].

Знак “–” перед другим доданком у рівнянні (1.3) дає змогу записати закон збереження для

магнетного заряду у тому ж вигляді, що й для електричного:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j}_m = 0.$$

Повний магнетний заряд замкненої фізичної системи строго зберігається у всіх взаємодіях і перетвореннях.

Рівняння набувають класичного вигляду під час підстановки

$$\rho_m = 0, \quad \mathbf{j}_m = 0.$$

Відтак можна записати систему рівнянь Максвелла з врахуванням існування магнетних зарядів, при цьому класичні рівняння просто відображають той факт, що зазвичай монополі не спостерігаються.

Проте, існує ще деяка проблема. За відсутності магнетних зарядів електричне і магнетне поля можна переписати через скалярний і векторний потенціали φ та \mathbf{A} , відповідно:

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}.$$

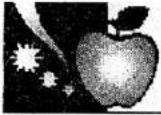
$$\mathbf{B} = \operatorname{rot} \mathbf{A}.$$

Однак, якщо ввести магнетні заряди, то $\operatorname{div} \mathbf{B}$ уже не дорівнює нулеві та його не можна зобразити як ротор якогось вектора. Один зі способів розв’язати цю проблему полягає у введенні сингулярного потенціалу. Можна також ввести два нових потенціали, ψ та \mathbf{G} [13].

$$\mathbf{E} = -\operatorname{grad} \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \operatorname{rot} \mathbf{G},$$

$$\mathbf{B} = \operatorname{grad} \psi + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial t} + \operatorname{rot} \mathbf{A}.$$

У підсумку маємо, що рівняння Максвелла, записані через потенціали, також стають симетричними.



Квантування заряду

Існує елементарне міркування в підтримку квантованості електричного заряду [12]. Якщо розглядати нерелятивістську частинку з масою m , електричним зарядом e_1 і магнетним зарядом μ_1 , що рухається зі швидкістю \mathbf{v} у полі нерухомого тіла, що володіє зарядами e_2, μ_2 , то рівняння руху можна записати так:

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = e_1 \left(\mathbf{E} + \frac{1}{c} [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] \right) + \mu_1 \left(\mathbf{B} - \frac{1}{c} [\mathbf{v} \times \mathbf{E}] \right),$$

де залежність напруженостей полів \mathbf{E} і \mathbf{B} від відстані (початок координат пов'язаний з нерухомим тілом) має вигляд:

$$\mathbf{E} = e_2 \frac{\mathbf{r}}{r^3},$$

$$\mathbf{B} = \mu_2 \frac{\mathbf{r}}{r^3}.$$

У підсумку підстановки отримуємо:

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = (e_1 e_2 + \mu_1 \mu_2) \frac{\mathbf{r}}{r^3} + (e_1 \mu_2 - e_2 \mu_1) \frac{1}{c} \left[\mathbf{v} \times \frac{\mathbf{r}}{r^3} \right]$$

Помноживши векторно на \mathbf{r} зліва, отримаємо рівняння:

$$\left[\mathbf{r} \times m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right] = (e_1 \mu_2 - e_2 \mu_1) \frac{1}{c} \frac{[\mathbf{r} \times [\mathbf{v} \times \mathbf{r}]]}{r^3} =$$

$$= (e_1 \mu_2 - e_2 \mu_1) \frac{1}{c} \frac{d\mathbf{r}}{dt} \frac{1}{r},$$

оскільки похідна

$$\frac{d\mathbf{r}}{dt} \frac{1}{r} = \frac{\dot{\mathbf{r}}}{r} - \frac{\mathbf{r}}{r^2} \dot{r} = \frac{\dot{\mathbf{r}} r^2 - \mathbf{r}(\dot{\mathbf{r}} r)}{r^3} = \frac{[\mathbf{r} \times [\dot{\mathbf{r}} \times \mathbf{r}]]}{r^3}.$$

Тут виділяємо вектор моменту кількості руху, який зберігається:

$$\mathbf{J} = [\mathbf{r} \times m\mathbf{v}] - (e_1 \mu_2 - e_2 \mu_1) \frac{1}{c} \frac{\mathbf{r}}{r}.$$

Далі для спрощення розглянемо границю великої маси m , тобто вважатимемо й другу частинку нерухомою ($\mathbf{v} = 0$). У цьому випад-

ку квантування проекції моменту кількості руху \mathbf{J} на вісь \mathbf{r}/r , що з'єднує частинки, дає умову квантування заряду:

$$\frac{e_1 \mu_2 - e_2 \mu_1}{c} = 2\pi \hbar \nu,$$

де ν – ціле число.

Треба зазначити, що строгий розгляд цієї проблеми, зокрема й пов'язаний із коректністю інтерпретації вектора \mathbf{J} саме як моменту кількості руху, вимагає докладного квантовомеханічного аналізу, який виходить далеко за межі викладеного тут підходу.

Для частинки, яка володіє електричним і магнетним зарядом, маємо:

$$\frac{e\mu}{c} = 2\pi \hbar \nu.$$

Тобто між елементарними магнетним μ_0 та електричним e зарядами існує простий зв'язок:

$$\mu_0 = \frac{2\pi \hbar c}{e}.$$

Отже, навіть єдиний монополь із визначеним зарядом пояснив би квантування електричного заряду – явище, яке є одним із фундаментальних законів природи і яке досі не має іншого пояснення.

Співвідношення

$$\frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$$

виражає константу взаємодії, яка для електричних зарядів є достатньо малою. Звідси можна виразити одиницю електричного заряду і ввести одиницю магнетного заряду:

$$\frac{\mu^2}{\hbar c} \approx 4 \cdot 137.$$

Сили між магнетними зарядами виявляються дуже сильними, якщо, для прикладу, порівнювати з сильними ядерними взаємодіями, для яких константи взаємодії порядку 10.



Заряд магнетного монополя набагато більший від заряду електрона. У такому випадку трек монополя, який рухається в камері Вільсона чи бульбашковій камері, має помітно виділятися на фоні треків інших частинок, але нічого подібного не спостерігається. Залишається актуальним питання, чи магнетні монополі рідко народжуються, чи взагалі не існують.

Поки що ця елегантна теоретична абстракція знаходить втілення лише опосередковано в таких нових фізичних станах матерії, як бозе-конденсати [15] чи спінова крига [16–18].

Закон Біо–Савара–Лапласа

Поки пошуки магнетних монополів тривають, припущення про їхнє існування знаходить своє застосування у виведенні законів фізики, зокрема, закону Біо–Савара–Лапласа.

Відомо, що на електрично заряджену частинку q , яка рухається зі швидкістю \mathbf{v}_q у магнетному полі \mathbf{B} діє сила Лоренца [19]

$$\mathbf{F}_q = q\mathbf{E} + \frac{q}{c}[\mathbf{v} \times \mathbf{B}].$$

Сила, що діє на нерухомий магнетний монопол q_m , є такою:

$$\mathbf{F}_m = q_m \mathbf{B}.$$

Ми не знаємо, яка сила діяла б на заряд q_m , якщо б він рухався.

Точковий заряд q створює статичне кулонівське поле \mathbf{E}

$$\mathbf{E} = \frac{q}{r^2} \mathbf{r}_q,$$

де \mathbf{r}_q – одиничний вектор, який напрямлений від електричного заряду q до точки, де вектор напруженості електричного поля \mathbf{E} є визначеним.

Нехай магнетний заряд q_m , що є нерухомим, створює подібне кулонівське поле \mathbf{B}

$$\mathbf{B} = \frac{q_m}{r^2} \mathbf{r}_m,$$

де одиничний вектор \mathbf{r}_m визначається аналогічно до \mathbf{r}_q .

Для рухомого електричного заряду маємо:

$$\mathbf{F}_q = \frac{q}{c}[\mathbf{v}_q \times \mathbf{B}] = \frac{q}{c}[\mathbf{v}_q \times \frac{q_m \mathbf{r}_m}{r^2}].$$

За третім законом Ньютона

$$\mathbf{F}_m = -\mathbf{F}_q.$$

Відтак для нерухомого заряду q_m :

$$q_m \mathbf{B} = \mathbf{F}_m = -\mathbf{F}_q = -q_m \frac{q}{c}[\mathbf{v}_q \times \frac{\mathbf{r}_m}{r^2}].$$

Прийнявши $\mathbf{r}_m = -\mathbf{r}_q$ в останньому виразі і скоротивши на q_m , отримаємо результат, що заряд q , який рухається зі швидкістю \mathbf{v}_q , створює магнетне поле:

$$\mathbf{B} = \frac{q}{c}[\mathbf{v}_q \times \frac{\mathbf{r}_q}{r^2}].$$

Останнє співвідношення є законом Біо–Савара–Лапласа [19]. Існування монополів ще раз підтвердило б, що магнетна індукція поля створюється і рухомими електричними зарядами, і струмами.

...Відомим історичним фактом є те, що ідею магнетних монополів Дірак висловив разом із ідеєю про існування позитрона. “Позитивний електрон” невдовзі виявили за спостережуваними треками в камері Вільсона. Щодо магнетного монополя, то цікаво, скільки ще часу будуть дослідники розгадувати чергову загадку природи?

Пошук триває...

Автори висловлюють подяку Ю. Криницькому та проф. В. Ткачукові за обговорення деяких питань, висвітлених у цій статті.



Література

- [1] Липсон Г. Великие эксперименты в физике / пер с англ. И. Б. Виханского и В. А. Кузьмина; под ред. В. И. Рыдника. – Москва: Мир, 1972. – 215 с.
- [2] *Theophrastus. On Stones / Introduction*, Greek text, English translation and commentary by Earle R. Galley and John F. C. Richards. – Columbus, Ohio: The Ohio State University, 1956. – vii, 237 p.; текст можна знайти за адресою: http://www.farlang.com/gemstones/theophrastus-on-stones/page_002.
- [3] Li Shu-hua Origine de la boussole II. Aimant et boussole // *Isis*. – 1954. – Vol. 45, No. 2. – P. 175–196.
- [4] Stein R. Jong Keng, Chang Tcheou yi-k'i t'ong-k'ao // *Bulletin de l'Ecole française d'Extrême-Orient*. – 1941. – Vol. 41, No. 1. – P. 394–406.
- [5] Gilbert W. On the loadstone and magnetic bodies and on the great magnet the Earth. A new physiology, demonstrated with many arguments and experiments ... / transl. by P. Fleury Mottelay. – New York: J. Wiley & sons, 1893. Текст можна знайти за адресою: <http://archive.org/details/williamgilbertof00gilb>.
- [6] Ørsted, J. Ch. Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam. – Hafniae: Typis Schultzianis, 1820. – 4 p.
Текст можна знайти за адресою: http://la.wikisource.org/wiki/Experimenta_circa_effectum_conflictus_electrici_in_acum_magneticam; http://www.ampere.cnrs.fr/ice/ice_book_detail-fr-img-ampere-ampere_text-63-2.html
- [7] Ørsted, Ampère, Arago. Note sur les expériences électro-magnétiques relatives à l'identité de l'aimant avec l'électricité // *Annales des mines ou Recueil de mémoires sur l'exploitation des mines et sur les sciences qui s'y rapportent*. – 1820. – Vol. 5. – P. 535–558.
Текст можна знайти за адресою: <http://www.ampere.cnrs.fr>.
- [8] Федорченко А. М. Теоретична фізика: В 2 т. – К.: Вища школа, 1992.
- [9] Curie P. Sur la possibilité d'existence de la conductibilité magnétique et du magnétisme libre // *Séances de la Société Française de Physique*. – Paris, 1894. – P. 76–77.
- [10] Vaschy A. Traité d'électricité et de magnétisme : Théorie et applications, instruments et méthodes des mesure électrique. – Paris, 1890.
- [11] Dirac P. A. M. Quantised singularities in the electromagnetic field // *Proc. Roy. Soc. A*. – 1931. – Vol. 133. – P. 60–72.
- [12] Швингер Ю. Магнитная модель материи // *Успехи физических наук*. – 1971. – Т. 103. – С. 355–365.
- [13] Moulin F. Magnetic monopoles and Lorentz force // *Il Nuovo Cimento*. – 2001. – Vol. 116B. – N 8. – С. 869–877.
- [14] Jun S. Song. Theory of magnetic monopoles and electric-magnetic duality: A prelude to S-duality // *J. Undergrad. Sci*. – 1996. – Vol. 3. – P. 47–55.
- [15] Pietilä V., Möttönen M. Non-Abelian magnetic monopole in a Bose–Einstein condensate // *Phys. Rev. Lett*. – 2009. – Vol. 102, No. 8. – Art. 080403. – 4 p.
- [16] Castelnovo C., Moessner R., Sondhi S. L. Magnetic monopoles in spin ice // *Nature*. – 2008. – Vol. 451. – P. 42–45.
- [17] Gingras M. J. P. Observing monopoles in a magnetic analog of ice // *Science*. – 2009. – Vol. 326. – P. 375–376.
- [18] Morris D. J. P. et al. Dirac strings and magnetic monopoles in spin ice $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ // *Science*. – 2009. – Vol. 326. – P. 411–414; <http://arxiv.org/abs/1011.1174>.
- [19] Frank S. Magnetic monopoles, Galilean invariance, and Maxwell's equations // *Am. J. Phys*. – 1992. – Vol. 60, No. 2. – P. 109–114.



ВІДКРИТТЯ КОСМІЧНИХ ПРОМЕНІВ

Сто років тому австрійський фізик Віктор Франц Гесс виявив потік субатомних частинок, які поширюються на Землю з космоса.

Це відкриття стало підрунтям виникнення нової галузі досліджень – фізики високих енергій.

Коли 7 серпня 1912 року В. Гесс завершив на повітряній кулі сьому експедицію, він ще не розумів, що відкрив. Дослідник лише зареєстрував випромінювання (за допомогою трьох приладів для вимірювання йонізації) на висоті 5 300 м над озером Швилох на південно-східній німецькій землі Бранденбург. Згодом стало зрозуміло, що це так зване космічне випромінювання складається переважно з енергетичних, електрично заряджених атомних ядер.

Лише за 24 роки (1936) за ці дослідження Віктор Гесс отримав Нобелівську премію з фізики “за відкриття космічних променів”.

Працюючи демонстратором і викладачем у Віденському університеті, В. Гесс зацікавився дослідженнями Франца Екснера та Егона фон Швейдлера з йонізуючої дії радіоактивних випромінювань. Такі випромінювання виникають у тих випадках, коли атоми нестабільних елементів, наприклад, урану чи торію, зазнають радіоактивного розпаду. Під дією радіоактивного випромінювання атмосфера довкола радіоактивного джерела йонізується, тобто стає електропровідною. Тому радіоактивність може бути виявлена за допомогою електроскопа – приладу, який втрачає наданий йому електричний заряд під дією радіації.



*Віктор Франц Гесс
(Victor Franz Hess)
(24.06.1883–17.12.1964)*

Працюючи з 1910 року асистентом-дослідником в Інституті радієвих досліджень при Віденському університеті, В. Гесс довідався, що декількома місяцями раніше Теодор Вульф виміряв у Парижі йонізацію атмосфери. Т. Вульф проводив вимірювання на Ейфелевій вежі та показав, що на її вершині (на висоті 320 м) рівень радіації набагато вищий, ніж біля її підніжжя. Ці результати суперечили існуючій тоді теорії, за якою радіоактивне випромінювання могло йти лише з глибин Землі. Науковець пояснив, що високий рівень йонізації на вершині зумовлений радіацією, яка йде з космосу. Він звернувся до інших науковців із пропозицією перевірити його гіпотезу за допомогою приладів, встановлених на аеростатах.

Згодом В. Гесс створив прилади, здатні працювати в умовах зміни температури і тиску



100 років тому, 7 серпня 1912 року, Віктор Франц Гесс завершив на повітряній кулі свою експедицію

під час підйому на великі висоти. Він обчислив максимальну висоту, на яку земна радіація могла б йонізувати атмосферу. Вона становила 500 м. У наступні два роки він за допомогою Австрійського повітроплавального клубу запустив десять аерозондів. Йому вдалось показати, що зі збільшенням висоти над землею йонізація атмосфери зменшилась (завдяки зменшенню впливу радіоактивних речовин у Землі), але починаючи з висоти 1000 м помітно зростає. Це привело його до висновку, що така йонізація атмосфери справді зумовлена проникненням у земну атмосферу випромінювання з космічного простору.

У тому, що випромінювання приходить із космічного простору, а не від Сонця, В. Гесса переконали дослідження, здійснені вночі, під час яких не спостерігалось пониження рівня радіації у верхніх шарах атмосфери.

В. Гесс 1931 року став професором експериментальної фізики і директором Інституту радіаційних досліджень при Інсбрукському університеті та створив станцію для дослідження космічних променів.

У 1921–1925 роках американський фізик Р. Міллікен, вивчаючи поглинання космічного випромінювання в атмосфері Землі залежно від висоти спостереження, виявив, що у свинці це випромінювання поглинається так само, як і гамма-випромінювання ядер. Саме Р. Міллікен перший 1925 року назвав це випромінювання “космічними променями”.

Експерименти В. Гесса привернули увагу до космічних променів багатьох фізиків, зокрема Карла Андерсона, який згодом відкрив позитрон – додатно заряджену частинку з масою, що дорівнює масі електрона. Він із С. Неддермейером відкрили короткоживучу



частинку з масою, майже у 200 разів більшу від маси електрона. Вони вважали, що це пі-мезон, але частинка мала всі властивості електрона. Згодом її назвали мюоном.

“Виявлення космічних променів було відкриттям століття і принесло нам зовсім інший погляд на космос, – сказав директор Інституту ДЕЗІ (Німецький дослідницький центр “Німецький електронний синхротрон” DESY) Христіан Штегманн. – До того ж, воно стало наріжним каменем фізики елементарних частинок в епоху появи пришвидшувачів, адже вивчення космічних променів привело до відкриття багатьох важливих частинок, зокрема позитрона, мюона і піона.”

ДЕЗІ, Потсдамський університет та Інститут історії науки наукового товариства Макса Планка від 6 до 8 серпня 2012 року провели Симпозіум у Бад-Сарові-Пішкові (неподалік Берліна), саме там, де В. Гесс опустив свою повітряну кулю на землю. Там зібралася велика кількість фізиків, які обговорили отримані результати та перспективи досліджень у майбутньому. Був відкритий меморіальний камінь, учасники змогли політати на повітряній кулі та помилуватися електроскопами, за допомогою яких проводилися вимірювання йонізації.

На пам’ятній таблиці німецькою мовою написано:

“У пам’ять відкриття космічного випромінювання. 7 серпня 1912 року, австрійський фізик Віктор Франц Гесс приземлився біля Рішкова на повітряній кулі. У своєму польоті в Північній Богемії, де він піднявся на висоту 5300 метрів [17400 футів], він зафіксував йонізуюче випромінювання з космосу.

За відкриття космічного випромінювання В. Ф. Гесса нагородили Нобелівською премією з фізики 1936 року.”

У Симпозіумі брав участь Нобелівський лавреат з фізики Джеймс Кронін, один із творців найбільшої обсерваторії для дослідження космічних променів “П’єр Оже” в Аргентині. Одним з основних завдань його є з’ясувати походження дуже високої енергії космічних променів. Для того побудували детектор, здатний вимірювати напрям та енергію частинок понад 10^{18} eV з великою точністю. Над цим проектом працює майже 400 учених із 120 інститутів у 18 країнах світу.

“Сто років – це добра нагода оглянутися назад і подумати, куди рухатися далі, – сказав королівський астроном Вулфендейл, який брав участь у Симпозіумі.”

Історія космічних променів почалася ще в 1780-х роках, коли французький фізик Шарль Огюстен де Куломб (Charles-Augustin de Coulomb) зауважив, що електрично заряджена сфера може мимоволі втрачати свій заряд. Учені дійшли висновку, що повітря мусить мати деяку електропровідність, але це було значно пізніше, після відкриття електрона (1894), рентгенівських променів (1895) і радіоактивності (1896). Вони почали розуміти, що повітря справді стало провідником, коли молекули йонізуються під дією заряджених частинок і рентгенівського випромінювання.

За допомогою гамма-астрономії фізики сподіваються отримати нові дані про природу космічних пришвидшувачів заряджених частинок, які в мільйони разів потужніші від найкращих пришвидшувачів, які є нині. Одинокі протони космічного випромінювання можуть мати стільки ж енергії, як добре кинутий тенісний м’яч, та через свій електричний заряд швидкі частинки відхиляються багаточисленними магнетними полями під час проходження космосом. Тому неможливо прослідкувати походження частинок, коли вони потрапляють на Землю.



Космічні промені переважно складаються із частинок, та невелика їхня доля є гамма-випромінюванням, яке не відхиляється від напрямку, а відтак просто вказує на своє джерело. Для їхнього дослідження створюють спеціальні обсерваторії, такі як H.E.S.S. у Намібії (на честь першовідкривача), MAGIC на острові Пальма (Канари) і VERITAS у США. Вони дали змогу виявити понад сто космічних джерел високоенергетичного гамма-випромінювання.

Пришвидшувачі частинок у глибинах Всесвіту можна виявляти і за допомогою нейтрино – легких, електрично нейтральних частинок, які також не відхиляються магнетним полем. Щойно розпочалися дослідження на величезному телескопі IceCube в Антарктиді, що також збудований саме для пошуку нейтрино.

Розрізняють первинні космічні промені – космічні промені до входження в атмосферу і вторинні космічні промені, що утворилися в результаті процесів взаємодії первинних космічних променів з атмосферою Землі.

Галактичні космічні промені є частинками високої енергії, які йдуть у нашу Сонячну систему з далекої галактики. Космічні промені є одними з небагатьох наших прямих зразків речовини із-за меж Сонячної системи. Магнетні поля Галактики, Сонячної системи та Землі змінило траєкторію польоту цих частинок настільки, що ми не можемо повернутися до первинних джерел їхнього походження в Галактиці.

Частина космічних променів є протонами, частина є ядрами гелію. Всі природні елементи в періодичній таблиці присутні в космічних променях приблизно в тій же пропорції, як вони відбуваються в Сонячній системі.

Майже 90 % з ядер космічних променів є воднем (протони), майже 9 % гелієм (альфа-частинок), а всі інші елементи становлять ли-

ше 1 %. Навіть у цьому відсотку є дуже рідкісні елементи та ізотопи. Вони вимагають великих детекторів, щоб сказати щось достовірне про джерело їхнього походження.

Експеримент важких ядер HEAO (Heavy Nuclei Experiment), який був розпочатий 1979 року, зібрав майже 100 космічних променів між елементом 75 і елемент 87 (група елементів, яка містить платину, ртуть і свинець). Майже півтора року польоту, і це дало набагато більше результатів, ніж за допомогою більшості наукових приладів НАСА, які досліджують сьогодні. Аби провести точніші вимірювання, треба ще складніші прилади та величезні кошти.

Більшість галактичних космічних променів, ймовірно, пришвидшуються в ударних хвилях залишків наднових. Це не означає, що вибух наднової сам отримує частинки до таких швидкостей. Залишки вибухів, розширення хмари газу і магнетного поля, може тривати тисячі років, і це, коли космічні промені пришвидшуються.

Космічні промені можуть бути пришвидшені до деякої максимальної енергії, яка залежить від розміру ділянки пришвидшення та напруженості магнетного поля.

Однак, космічні промені спостерігаються за значно вищих енергій, ніж залишки найновіших може генерувати. Можливо вони приходять ззовні Галактики, від активних галактичних ядер, квазарів і гамма-спалахів променів.

24 жовтня 2012 року відбудеться Наукова сесія Російської академії наук, яка буде присвячена 100-річчю відкриття космічних променів, де проф. М. І. Панасюк з Науково-дослідного інституту ядерної фізики Московського державного університету імені М. Ломоносова виступить з доповіддю про внесок російських учених в історію розвитку фізики космічних променів.



У 1925 році радянські фізики Л. Тувим і Л. Мисовський провели вимірювання поглинання космічного випромінювання у воді. З'ясувалось, що це випромінювання поглиналось у десять разів слабше, ніж гамма-випромінювання ядер. Учені виявили також, що інтенсивність випромінювання залежить від барометричного тиску – відкрили “барометричний ефект”. Досліди Д. Скобельцина з камерою Вільсона, яку розміщували у постійному магнетному полі, дали змогу “побачити”, завдяки йонізації, сліди космічних частинок. Д. Скобельцин відкрив потоки космічних частинок. Експерименти з космічними променями дали змогу зробити низку принципових для фізики мікросвіту відкриттів.

У 1932 році Карл Андерсон відкрив у космічних променях позитрон.

У 1937 році Андерсон і Неддермейер відкрили мюони і визначили тип їхнього розпаду.

У 1955 році у космічних променях знайшли наявність К-мезонів, а також і важкі нейтральні частинки – гіперони.

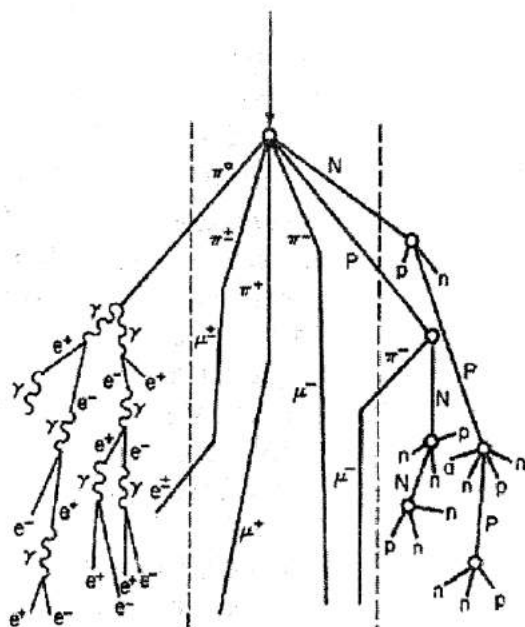
Поява космічних ракет і супутників привело до нових відкриттів – виявлення радіаційних поясів Землі і дало змогу створити нові методи дослідження галактичного і міжгалактичного просторів.

Та найважливіші питання досі залишаються нез'ясованими, зокрема, як саме виникають космічні промені.

Учені досі не розуміють, які космічні явища розганяють промені до неймовірно високих швидкостей.

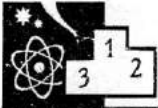
Галина Шона

КОСМІЧНІ ПРОМЕНІ



ПОЗНАЧЕННЯ

- p – протон
- n – нейтрон
- π – піон
- e – електрон
- μ – мюон
- γ – фотон



ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ І ЗМІНА КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Олег Орлянський,

кандидат фізико-математичних наук,

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

У попередній статті¹ ми поставили за мету знайти векторну величину, яка б залежала від швидкості частинки і для якої б виконувався закон збереження. З'ясувалося, що така величина \vec{p} має бути пропорційною швидкості \vec{v} , а коефіцієнт пропорційності m є скалярною характеристикою частинки, для якої також виконується закон збереження. Відтак, за допомогою закону додавання швидкостей ми наново відкрили імпульс $\vec{p} = m\vec{v}$ та масу m у класичній фізиці, а також їхні закони збереження.

Подальший аналіз виявив, що важливою характеристикою будь-якого тіла або сукупності частинок є центр мас, положення і швидкість руху якого відносно довільної системи відліку визначаються такими формулами:

$$\begin{aligned}\vec{r}_c &= \frac{m_1\vec{r}_1 + m_2\vec{r}_2 + m_3\vec{r}_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}, \\ \vec{v}_c &= \frac{m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + m_3\vec{v}_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots},\end{aligned}\quad (1)$$

де $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$ – швидкості, а $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3$ – радіус-вектори частинок (вектори, які виходять з початку системи координат і закінчуються кожний на своїй частинці).

У системі центра мас загальний імпульс усіх частинок дорівнює нулеві. Частинки можуть довго рухатись довкола центра мас, а

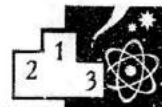
можуть швидко зіткнутися і зупинитись. Загальний імпульс в обох випадках весь час незмінно дорівнюватиме нулеві. Отже, імпульс не є вичерпною характеристикою механічного руху системи частинок. Спробуємо знайти іншу величину, яка б характеризувала рух частинок і дорівнювала нулеві лише у випадку їхньої повної зупинки. Назвемо її кінетичною енергією ΔE_k . На відміну від сумарного імпульсу ізольованої системи, сумарна кінетична енергія під час взаємодії може змінюватись. Якщо ця зміна пов'язана із взаємним розташуванням частинок або зміною їхнього внутрішнього стану, вона має мати однакове значення у різних інерціальних системах відліку (ІСВ). Спробуємо знайти вираз для кінетичної енергії, виходячи тільки із цього припущення: зміна кінетичної енергії ΔE_k ізольованої системи частинок, які довільно взаємодіють між собою, має однакове значення у будь-якій ІСВ. Подібно до імпульсу, величина, яку ми шукаємо, має залежати від маси m та швидкості v руху частинки. На відміну від імпульсу, кінетична енергія не має залежати від напрямку руху, оскільки тоді, скажімо, для двох частинок, що рухаються назустріч одна одній, вона могла б дорівнювати нулеві.

Шукатимемо кінетичну енергію у вигляді функції двох змінних m і v :

$$E_k = f(m, v). \quad (2)$$

Передусім зазначимо, що внаслідок закону збереження маси кінетична енергія пропорційна до маси частинки.

¹Журнал "Світ фізики", 2012. – № 1. – С. 39–45.



Доведемо це.

Припустимо, що частинка масою m складається з n однакових частинок масами m_0 кожна. Тоді значення кінетичної енергії можна розрахувати двома способами, як кінетичну енергію однієї частинки масою $m = nm_0$ і як суму кінетичних енергій n частинок масами m_0 кожна:

$$f(nm_0, v) = nf(m_0, v). \quad (3)$$

Останнє рівняння виконується для довільних n і m_0 лише у випадку, коли маса входить у функцію $f(m, v)$ у вигляді множника

$$f(m, v) = m \cdot g(v),$$

де нова функція $g(v)$ залежить уже лише від однієї змінної.

Справді, рівняння (3) виконується тепер як тотожність:

$$nm_0g(v) = n \cdot m_0g(v).$$

Щоб знайти явний вигляд функції $g(v)$, розглянемо спочатку найпростіший випадок непружного зіткнення двох частинок масами m_1 і m_2 . Непружне зіткнення – це таке зіткнення, внаслідок якого тіла отримують однакову швидкість, а у системі відліку центра мас зупиняються.

Припустимо, що до зіткнення у системі центра мас частинки рухалися назустріч одна одній зі швидкостями \vec{v}_1 і \vec{v}_2 (рис. 1), які за законом збереження імпульсу пов'язані співвідношенням $m_1v_1 = m_2v_2$. Оскільки після зіткнення частинки зупиняються, зміна кінетичної енергії ΔE_k і початкова енергія системи E_k співпадатимуть



Рис. 1

$$\Delta E_k = m_1g(v_1) + m_2g(v_2). \quad (4)$$

Запишемо зміну кінетичної енергії ΔE_k ще для двох систем відліку, у яких одна з початкових швидкостей дорівнює нулеві. У сис-

темі відліку першої частинки вона перебуває у стані спокою, а на неї налітає друга частинка з відносною швидкістю $v = v_1 + v_2$. Після зіткнення частинки починають рухатись разом зі швидкістю $\vec{u} = -\vec{v}_1$, яка за напрямком протилежна до швидкості \vec{v}_1 першої частинки відносно нерухомого центру мас, а за величиною дорівнює їй, $u = v_1$. Це зрозуміло з того, що \vec{u} є спільною швидкістю двох частинок, а отже й швидкістю руху їхнього центра мас у системі відліку першої частинки до зіткнення.

Те, що $u = v_1$, можна довести й суто формально, наприклад, скориставшись законом збереження імпульсу у двох системах відліку

$$m_1v_1 = m_2v_2, \quad m_2v = (m_1 + m_2)u$$

і тим, що $v = v_1 + v_2$.

Запишемо зміну кінетичної енергії у системі відліку, де спочатку перша частинка нерухома:

$$\Delta E_k = m_2g(v) - (m_1 + m_2)g(v_1). \quad (5)$$

Аналогічно для системи відліку, де спочатку у стані спокою перебувала друга частинка:

$$\Delta E_k = m_1g(v) - (m_1 + m_2)g(v_2). \quad (6)$$

Зміна кінетичної енергії ΔE_k має однако-ве значення у різних системах відліку. Вилучаючи ΔE_k і $g(v)$ із системи рівнянь (4), (5), (6) і скориставшись $m_1v_1 = m_2v_2$, отримуємо:

$$\frac{g(v_1)}{v_1^2} = \frac{g(v_2)}{v_2^2}. \quad (7)$$

Вираз зліва від знака рівності залежить тільки від швидкості v_1 першої частинки, а такий самий вираз справа – від швидкості v_2 другої частинки. У загальному випадку рівність (7) виконується лише за умови скорочення чисельника і знаменника в обох частинах (7) до деякої сталої, тобто

$$g(v) = kv^2,$$

де k – довільна стала.

Кінетична енергія набуває такого вигляду:

$$E_k = kmv^2. \quad (8)$$

Значення безрозмірної сталої k пов'язано з визначенням сили та її роботи, як характеристики зміни кінетичної енергії. Ми повернемося до цього питання згодом і покажемо, чому саме $k = 1/2$.

Залежність кінетичної енергії від маси та швидкості знайдена

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Як і передбачалося, кінетична енергія виявилася скалярною величиною. Вона пропорційна квадрату модуля швидкості $|\vec{v}| = v$. Імпульс – векторна величина і пропорційна до вектора швидкості \vec{v} .

Як із вектора отримати модуль у квадраті?

Припустимо, що ми шукаємо кінетичну енергію першої частинки відносно другої.

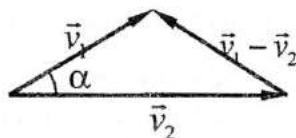


Рис.2

Якщо швидкості частинок \vec{v}_1 і \vec{v}_2 утворюють кут α (див. рис. 2), то швидкість першої частинки відносно другої $\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2$, а квадрат її модуля за теоремою косинусів

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha.$$

З іншого боку, якщо піднести до квадрату відносну швидкість

$$\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2,$$

матимемо:

$$\vec{v}_1 \vec{v}_2 = v_1 v_2 \cos \alpha.$$

Порівнюючи вирази, приходимо до висновку доцільності введення скалярного добутку

$$\vec{v}_1 \vec{v}_2 = v_1 v_2 \cos \alpha,$$

коли внаслідок добутку векторів отримуємо не векторну, а скалярну величину.

Тоді

$$\vec{v}_1^2 = \vec{v}_1 \vec{v}_1 = v_1 v_1 \cos 0 = v_1^2,$$

і модуль вектора можна визначити як квадратний корінь із його квадрату

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{\vec{v}^2}$$

подібно до визначення модуля дійсного числа $|x| = \sqrt{x^2}$.

Скалярний добуток грає важливу роль у фізиці, і ми повернемося до нього згодом від час розгляду сили та її роботи.

Приєм, який ми використали під час знаходження виразу кінетичної енергії (8), ґрунтується на такій логічній послідовності.

1. Шукаємо фізичну величину, зміна якої для системи взаємодіючих тіл має однакове значення у будь-якій ІСВ.

2. Знайти вираз цієї величини у загальному випадку для довільної ІСВ, довільної кількості тіл та початкових характеристик їхнього руху, дуже складно.

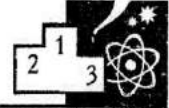
3. Скористуємось спочатку максимально простим випадком, щоб визначити можливу залежність фізичної величини від маси та швидкості.

4. Отриману залежність перевіримо у загальному випадку.

Настав час перевірити, чи справді для ізолюваної системи частинок зміна фізичної величини (8) має однакове значення у будь-якій ІСВ, а не тільки у трьох розглянутих вище.

Позначимо через \vec{v}_1 і \vec{v}_2 – швидкості частинок до зіткнення відносно деякої першої ІСВ, а через $\vec{v}_{\text{ІСВ}}$ – швидкість відносно неї другої ІСВ.

Відносно другої ІСВ за законом додавання швидкостей частинки до зіткнення мають швидкості



$$\vec{v}'_1 = \vec{v}_1 - \vec{v}_{\text{ICB}} \quad \text{і} \quad \vec{v}'_2 = \vec{v}_2 - \vec{v}_{\text{ICB}},$$

а після непружного зіткнення рухаються зі швидкістю центра мас

$$\vec{v}_c = \frac{m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2}{m_1 + m_2}.$$

Зміна кінетичної енергії внаслідок зіткнення буде:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m_1 \vec{v}'_1{}^2 + \frac{1}{2} m_2 \vec{v}'_2{}^2 - \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \vec{v}_c{}^2.$$

Підставимо \vec{v}_c у ΔE_k і після спрощення отримаємо:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (\vec{v}'_1 - \vec{v}'_2)^2. \quad (9)$$

У дужках стоїть відносна швидкість $\vec{v}'_1 - \vec{v}'_2$ (швидкість першої частинки відносно другої), яка залишається незмінною у будь-якій інерціальній системі відліку (ICB):

$$\vec{v}'_1 - \vec{v}'_2 = (\vec{v}_1 - \vec{v}_{\text{ICB}}) - (\vec{v}_2 - \vec{v}_{\text{ICB}}) = \vec{v}_1 - \vec{v}_2.$$

Вираз $\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ називають зведеною масою. Він характеризує інертні властивості обох частинок і позначається грецькою літерою μ :

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}.$$

Отже, зміна кінетичної енергії двох частинок під час непружного зіткнення дорівнює:

$$\Delta E_k = \frac{\mu \vec{v}_{\text{rel}}^2}{2}. \quad (10)$$

Це ж значення має кінетична енергія частинок у системі відліку їхнього центра мас, оскільки після зіткнення частинки зупиняються. Формула (10) є дуже зручною для швидкого розв'язування низки задач. Розглянемо, наприклад, таку задачу.

Дві маленькі свинцеві кульки масами m_1 і m_2 зіштовхнулися у повітрі і розлетілися з меншими швидкостями. Знайти значення швидкості $v_{2/1}$ другої кульки відносно першої після удару, якщо внаслідок нього температури кульок підвищилися на Δt . Перед зіткненням швидкості кульок v_1 і v_2 утворювали кут α , питома теплосмність свинцю c .

Розв'язок.

У системі відліку центра мас початкова і кінцева сумарна кінетична енергія двох кульок визначаються однаковою формулою (10), але з різними відносними швидкостями. Різниця початкової і кінцевої кінетичних енергій йде на нагрівання кульок

$$\frac{\mu(v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cos \alpha)}{2} - \frac{\mu v_{2/1}^2}{2} = c(m_1 + m_2) \Delta t. \quad (11)$$

До останньої формули можна дійти й з іншої інтерпретації.

Подумки розіб'ємо процес зіткнення кульок на два етапи. Під час першого кульки зрівнюють швидкості, зупиняючись одна відносно іншої і втрачаючи кінетичну енергію

$$\Delta E_k = \frac{\mu \vec{v}_{\text{rel}}^2}{2} = \frac{\mu(v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 \cos \alpha)}{2} - \text{типове непружне зіткнення.}$$

Під час другого – розганяються, щось на зразок непружного “зіткнення навпаки”, і повертають собі кінетичну енергію

$$\Delta E'_k = \frac{\mu v_{2/1}^2}{2}.$$

Не повернена решта $\Delta E_k - \Delta E'_k$ залишається у вигляді внутрішньої енергії кульок.

З формули (11) легко знаходимо відповідь задачі:

$$v_{2/1} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha - 2c\Delta t(m_1 + m_2)^2 / m_1m_2} \quad (12)$$

Зазначимо, що визначити окремо швидкості кульок після зіткнення ми не можемо, не вистачає даних. Після зіткнення знаємо лише загальний імпульс обох кульок та їхню кінетичну енергію. Маємо 4 рівняння (три для проекцій імпульсу та одне для кінетичної енергії), які містять 6 невідомих (по три проекції швидкості кожної кульки). Виходить, що неможливо розв'язати задачу, поставивши на меті спочатку знайти швидкості кульок після зіткнення, а вже тоді значення їхньої відносної швидкості $v_{2/1}$. Існує безліч різних кінцевих швидкостей кульок, які задовольняють умовам задачі. Та, попри це, в усіх випадках відносна швидкість кульок після зіткнення матиме однакове значення (12).

Про подібну можливість завжди слід пам'ятати, коли розв'язуєш складну задачу.

Інша задача, на перший погляд, виглядає дуже простою.

Пружина іграшкового автомобіля у заведеному стані має енергію E . Іграшковий автомобіль заводять, ставлять на горизонтальну підлогу і відпускають. Він швидко набирає максимальну швидкість v і далі їде за інерцією.

Знайдіть швидкість v , якщо маса автомобіля m , а втрати механічної енергії на виділення теплоти, рух повітря тощо можна знехтувати.

Розв'язок.

Енергія пружини E повністю переходить у кінетичну енергію руху автомобіля.

Отже,

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

звідки

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

Перевіримо відповідь.

Знайдемо зміну кінетичної енергії ΔE_k автомобіля в іншій системі відліку, наприклад, тій, що рухається йому назустріч зі швидкістю v .

Відносно цієї системи відліку початкова швидкість автомобіля v , а після того, як він розігнався, удвічі більша $2v$.

Енергія пружини E йде на збільшення кінетичної енергії автомобіля:

$$E = \Delta E_k = \frac{m(2v)^2}{2} - \frac{mv^2}{2} = 3\frac{mv^2}{2}.$$

Ми отримали зовсім іншу відповідь:

$$v = \frac{\sqrt{2E/m}}{\sqrt{3}}.$$

Ще дивнішим виявляється результат у системі відліку, що рухається зі швидкістю v вздовж напрямку руху автомобіля. Відносно цієї системи відліку початкова швидкість автомобіля також дорівнює v , та після того, як автомобіль розганяється і наздоганяє систему відліку, його швидкість зменшується до нуля!

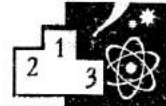
Виходить, що кінетична енергія автомобіля не збільшилася, а зменшилася, і

$$\Delta E_k = -\frac{mv^2}{2}!$$

Яка ж відповідь правильна?

І як бути з тим, що зміна кінетичної енергії має бути однаковою у різних системах відліку?

Розглянута ситуація отримала назву парадоксу кінетичної енергії. Та цей парадокс свідчить не про протиріччя теорії, а про неправильне її застосування.



Річ у тому, що ми помилилися в інтерпретації зміни кінетичної енергії. Під час наших пошуків кінетичної енергії йшлося про її зміну для ізольованої системи декількох тіл, які взаємодіють між собою і не взаємодіють із зовнішнім оточенням.

Чи поїхав би кудись автомобіль, якби він був ізольований від Землі?

Ні.

Він би шалено вертів колесами, але, не маючи від чого відштовхнутися, так би нікуди спрямовано і не зрушив, обертаючись на одному місці довкола свого центра мас. Автомобіль слід розглядати разом із Землею. Удвох вони утворюватимуть ізольовану систему, і події нашої задачі (спочатку відносна швидкість тіл дорівнює нулеві, а далі v) нагадуватимуть обернене у часі непружне зіткнення (“зіткнення навпаки”).

Для нього за формулою (10)

$$\Delta E_k = \frac{\mu \bar{v}_{\text{rel}}^2}{2}.$$

Отже, енергія пружини йде на кінетичну енергію обох тіл, а не тільки іграшкового автомобіля,

$$E = \frac{1}{2} \frac{Mm}{M+m} v^2.$$

Правильна відповідь у задачі буде:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{\mu}} = \sqrt{\frac{2E(M+m)}{Mm}},$$

де M – маса Землі.

Оскільки M значно перевищує m , зведена маса μ прямує до меншої з мас

$$\mu = \frac{Mm}{M+m} = \frac{m}{1 + \frac{m}{M}} \approx m,$$

і, виявляється, загальна кінетична енергія двох тіл дорівнює майже енергії автомобіля у системі відліку “Земля”.

Найперша відповідь

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}}.$$

є майже точною.

Тепер розгляньмо довільну систему відліку, що рухається зі швидкістю \bar{u} відносно Землі, на якій стоїть автомобіль. Відносно цієї системи початкові швидкості Землі та автомобіля однакові $-\bar{u}$, а після завершення розгону автомобіля \bar{v}_1 і \bar{v}_2 .

Запишімо закон збереження імпульсу і зміну кінетичної енергії тіл, зумовлену вивільненням енергії пружини:

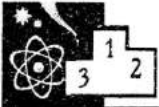
$$\begin{cases} -(M+m)\bar{u} = M\bar{v}_1 + m\bar{v}_2, \\ E = \frac{M\bar{v}_1^2}{2} + \frac{m\bar{v}_2^2}{2} - \frac{(M+m)\bar{u}^2}{2}. \end{cases}$$

Підставляючи \bar{u} з першого рівняння у друге, отримуємо знайому відповідь

$$E = \frac{1}{2} \frac{Mm}{M+m} (\bar{v}_1 - \bar{v}_2)^2 = \frac{\mu v^2}{2}. \quad (13)$$

У різних системах відліку зміна кінетичної енергії автомобіля чи кінетичної енергії Землі можуть бути різними, великими або малими, додатними або від’ємними, але їхня сума завжди однакова і визначається формулою (13). Можливість своєрідного перерозподілу кінетичної енергії завдяки переходу в іншу систему відліку використовується під час космічних польотів у так званих гравітаційних маневрах.

Та це питання разом з іншими цікавими застосуваннями законів збереження імпульсу та енергії потребує окремої розмови у наступних числах журналу.



ЯК ВПЛИВАЄ МІСЯЦЬ НА ДОБОВІ ЗМІНИ ПРИШВИДШЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ НА ЗЕМЛІ?

Богдан СТЕФАНЮК,
професор

На цю, здавалося б, простеньку проблему доводиться звернути увагу у час 10-ої річниці Сквиливської трагедії у Львові (27 липня 2002 року).

“Боже, який жах!” – вигукнув тоді наш космонавт Павло Романович Попович.

Як писала тоді львівська газета “Експрес”, “у виступах найвищих посадових осіб держави є суперечності в оцінках причин катастрофи”.

Нижче розглянуто одну з можливих фізичних причин – вплив змін гравітаційного пришвидшення.

Добре відома формула для обчислення величини гравітаційного пришвидшення на поверхні Землі залежно від географічної широти і висоти над рівнем моря [1]:

$$g = 980,616 - 2,5928 \cos(2\varphi) + 0,0068 \cos^2(2\varphi) - 0,003h,$$

де 980,616 – гравітаційне пришвидшення на екваторі на рівні моря, $\text{см}/\text{с}^2$; φ – географічна широта місцевості, градуси; h – висота місцевості над рівнем моря, м.

Для Львова ($\varphi \cong 50^\circ$ і $h \cong 300$ м) маємо:

$$g = 981,966 \text{ см}/\text{с}^2 \cong 9,82 \text{ м}/\text{с}^2.$$

На величину гравітації має суттєвий вплив наш небесний сусід Місяць.

Відомо, що маса Землі в 81 разів більша від маси Місяця [2].

Враховуючи, що відстань від центра Землі до Місяця становить 384 400 км, а радіус Землі – 6375 км, знаходимо, що центр мас – бароцентр (БаЦе) – знаходиться за фази повного

Місяця (ФПМ) на відстані 4687,8 км від центра Землі у напрямку до Місяця, тобто на відстані $2,22/3$ радіуса Землі.

Оскільки Земля за добу (за 24 години) робить один оберт відносно своєї осі із заходу на схід, то бароцентр відносно осі Землі також робить один оберт зі сходу на захід. Це спричиняє для кожної місцевості добову зміну гравітаційного пришвидшення.

Ситуація у день повного Місяця (для літнього місяця) зображена на схемі рисунка.

У липні 2002 року фаза повного Місяця була 24 липня 2002 року.

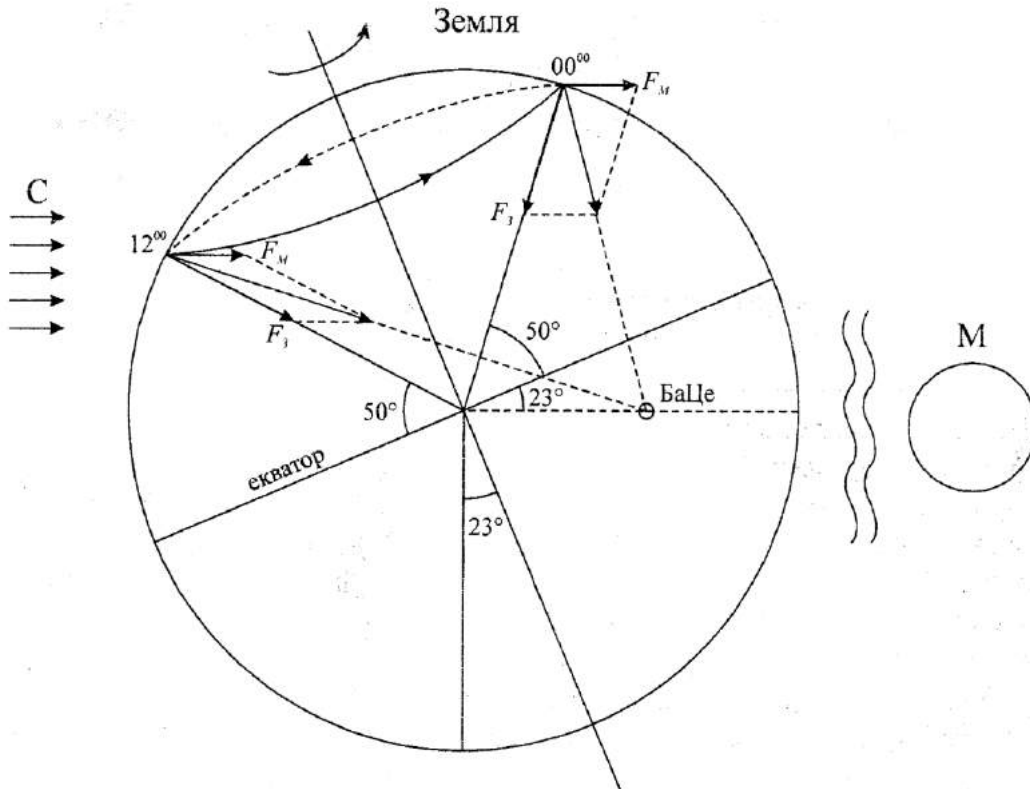
Відношення

$$g_{\max} : g_{\min} = 17,6 \text{ м}/\text{с}^2 : 8,8 \text{ м}/\text{с}^2 = 2.$$

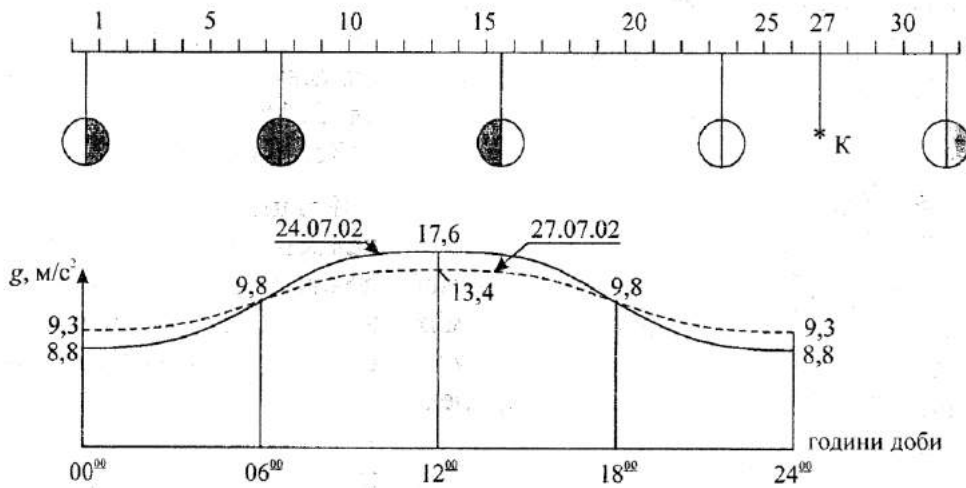
У день катастрофи 27 липня 2002 року – на третій день після ФПМ – це відношення дещо зменшилося:

$$g_{\max} : g_{\min} = 13,4 \text{ м}/\text{с}^2 : 9,3 \text{ м}/\text{с}^2 = 1,44.$$

При цьому гравітаційні перевантаження випали на денні години.



Липень 2002 року



Література

До того ж, ймовірно, умови польоту літака були ускладнені антибіфуркацією, коли потоки повітря опускаються донизу. Це могло стати однією з причин катастрофи.

1. Чайлдс У. Физические постоянные / пер. с англ. – Москва: Физматгиз, 1962. – 80 с.

2. Новейший справочник необходимых знаний, 2004. – 2-е изд., перераб. и доп. / сост. А. П. Кондрашов, Ю. В. Стреналюк. – Москва: РИПОЛ классик, 2004. – 768 с.

**МІЖНАРОДНА ЛІТНЯ ШКОЛА
“НАНОТЕХНОЛОГІЇ:
ВІД ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ДО ПРИКЛАДНИХ ЗАСТОСУВАНЬ”**

Олена Фесенко,

*кандидат фізико-математичних наук,
Інститут фізики Національної академії наук України*

У мальовничому карпатському туристичному комплексі “Буковель” Івано-Франківської області від 27 серпня до 2 вересня 2012 року відбулася 1-а Міжнародна літня школа “Нанотехнології: від фундаментальних досліджень до прикладних застосувань”. Її учасниками стали п’ятдесят молодих учених віком до 35 років з України, Франції, Італії, Греції, Росії, Естонії та Білорусі. Учасників школи обирали на конкурсній основі (серед майже 170 заявок).

Міжнародна літня школа проходила у межах проекту “Нанотвінінг”, який виконується в межах Сьомої Рамочної Програми Європейського Союзу. Проект “Нанотвінінг” триватиме 28 місяців – взаємодія між українськими та європейськими науковцями – одна з його завдань. Міжнародна літня школа нанотехнологій є одним із засобів реалізації мети.

Метою проведення Міжнародної літньої школи є налагодження наукових контактів між молодими науковцями різних країн світу та підвищення кваліфікації, відвідуючи серії лекцій з галузі нанонауки і нанотехнологій.

Вчені зі світовим ім’ям з університетів і науково-дослідних інститутів різних країн прочитали лекції та поділились своїми знаннями і досвідом з мікроскопії наноструктур, нанокompозитів, наноструктурованих поверхонь, нанооптики, наноплазмоніки та інших наукових напрямів.

Лекції прочитали 17 відомих учених з різних країн світу: директор Інституту фізики НАН України, член-кореспондент НАН України Леонід Яценко, директор Інституту прикладної фізики Лінцського університету (Австрія), проф. Томас Клар, проф. Жанмаріо Мартра з Туринського університету (Італія), д-р Венкат Рао, старший науковий співробітник Національних та оборонних програм (Вірджинія, США), д-р Емануель Лаказ із Університету П’єра та Марії Кюрі (Франція), проф. А. Камнев з Інституту біохімії і фізіології рослин та мікроорганізмів (Росія), д-р Л. Долгов із Тартуського університету (Естонія), члени-кореспонденти НАН України: А. Негрійко, А. Рагуля, О. Марченко; професори: Г. Довбешко, Т. Константинова та інші.

Концепцією літньої школи було поєднання навчання, обміну науковим досвідом та відпочинку. Вона проходила в Карпатах. Організатори обрали такий формат проведення школи, щоб молоді вчені перебували тиждень у відокремленому просторі та могли спілкуватись між собою не лише під час лекцій та засідань, а й щовечора під час культурної програми. З огляду на те, що школа була міжнародна, вона сприяла не лише обміну учасниками науковим досвідом та знаннями, а й традиціями.

Школа проходила двома етапами: зранку – проходили лекції, пополудні – молоді науковці

вправляли своє вміння у презентації наукових результатів, а увечері – вони разом з викладачами збирались біля вогнища або за круглим столом для дружнього спілкування та гри на гітарі.

Молоді науковці та викладачі Школи під час екскурсій відвідали географічний центр Європи, що розташований у с. Ділове Закарпатської області та ознайомились з традиціями гуцулів, побувавши у Музеї-колібі.

Під час проведення Школи відбувся конкурс між молодими науковцями на найкращу усну доповідь. Переможцем став аспірант Інституту фізики НАН України Антон Сененко за доповідь: “STM-investigation of adsorption of long chain aliphatic compounds on atomically flat surfaces”. Друге місце отримала аспірантка Інституту експериментальної патології, онкології та радіобіології НАН України Ірина Штонь за доповідь: “Nanocomposite of colloid gold with photosensitizer Fotolon as a potent drug in two-step cancer therapy”. Третє місце розділили студентка Національного університету “Києво-Могилянська Академія” Аня Риндер за доповідь: “Enhancement of IR Signals of Biomolecules Adsorbed on the Single Wall Carbon Nanotubes and Graphene Nanoplates” та аспірант Інституту монокристалів НАН України Владислав Семінко за доповідь: “Doped ion redistribution in $Y_2SiO_5:Pr^{3+}$ nanocrystals detected by spectroscopic techniques”.

Молоді науковці, крім наукових лекцій, також прослухали цикл ознайомлювальних лекцій із Сьомої Рамочної Програми Європейського Союзу та дізнались про можливості, які надає ця програма молодим ученим.

Під час роботи Школи також відбувся круглий стіл, на якому були обговорені перспективи розвитку нанотехнологій в Україні та світі, а також проблеми молодих науковців, які часто залишають Батьківщину у пошуках кра-

щої академічної долі. В Україні діє програма розвитку нанотехнологій, однак вона профінансована лише на 10 відсотків. Тому часто молоді українські вчені шукають змоги стажуватися в лабораторіях інших країн світу. Проблема полягає в тому, що більшість із них після стажування не повертаються додому, через що Україна втрачає висококваліфіковані наукові кадри.

Зокрема, лектор Жан Мартра, професор фізичної хімії Туринського університету Італії зазначив: *“Українські молоді вчені насправді мають високу підготовку, вони дуже працелюбиві та здатні фокусувати свою увагу на вузьких галузях досліджень”*.

Директор Інституту прикладної фізики Лінцського університету (Австрія), проф. Томас Клар зазначив: *“Я приємно вражений рівнем підготовки молодих учених в Україні, їхні наукові доповіді справді зроблені на високому рівні. Ця школа спрямована на те, щоб підвищити професійний рівень молодих та розширити їхній світогляд.”*

Лектор літньої школи Андрій Рагуль, заступник директора Інституту проблем матеріалознавства НАН України зазначив: *“Якщо Україна стане відкритішою до світу та молоді вчені будуть стажуватися у провідних наукових центрах світу, це буде дуже добре, але ніхто нині не вкладатиме в український інтелектуальних потенціал, крім власної держави”*.

Про найближчу перспективу нанотехнологій молодим науковцям розповів американський дослідник та теоретик Венкат Рау, старший науковий працівник Національних та оборонних програм США: *“Ми віримо, що нанотехнології – це дуже перспективний напрям на найближчі 20–30 років”*.

Менеджер проекту “Нанотвінінг” Олена Фесенко зазначила: *“Україна має створити*

всі умови для розвитку науки, щоб політика щодо неї носила інноваційний характер, а Україна не перетворилася в торгівельно-сировинну країну. Це шлях назад. Якби запаси нафти чи газу в нас не були, вони не зможуть забезпечити гідне місце України в глобальній економіці. Особливо держава має дбати про молодих учених та створити їм належні умови праці, а це матеріально-технічне забезпечення інститутів та університетів, гідна зарплата та соціальний пакет.”

При завершенні роботи Школи координатор проекту “Нанотвінінг” Л. Яценко зазначив:

“Міжнародна літня школа нанотехнологій в Україні проводиться вперше. Втім, організатори сподіваються, що за вдалого дебюту вона здобуде статус щорічної”. Він висловив свої сподівання, що проведена Міжнародна літня школа сприятиме підвищенню професійного рівня молодих учених у напрямках нанотехнологій, а також сприятиме формуванню їхнього наукового світогляду.

У підсумкових виступах учені різних країн висловили оптимістичні сподівання щодо швидкого розвитку нанотехнологій та їхнього застосування в медицині, екології та інших галузях життєдіяльності суспільства.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО ...

Нью-Йоркська радіостанція “WJZ” 90 років тому (1922) вперше здійснила “живе” студійне радіомовлення вистави під назвою “Дурень” (“The Perfect Fool”).

Компанія Марконі отримала дозвіл Британського Поштового відомства на радіомовлення музикальних програм упродовж 15 хвилин на тиждень. Перша радіопередача прозвучала з дослідницької радіостанції Марконі у Челмсфордї (США) у День Святого Валентина (14 лютого 1922 року).

17 вересні 1922 року у Москві за допомогою радіотелефонної станції було передано по радіо перший концерт.

18 жовтня 1922 року для контролю за розвитком радіозв’язку і радіомовлення була заснована компанія Британського радіомовлення – “Бі-Бі-Сі” (“BBC” – “British Broadcasting Company, Ltd”). Нині це одна з найбільших світових радіомовних компаній. Того ж року BBC почала мовлення перших регулярних розважальних передач.

Уперше за допомогою радіо було передано фотографію Папи Римського Пія XI з Риму до штату Мен (США). Це зображення в той же день опублікували у газеті “New York World”.

Американська корпорація “RCA” 1922 року випустила перший приймач з торговою маркою “Radiola” – “Radiola I”. Марку “Radiola” придумав 1921 року Альфред Голдсміт (Alfred M. Goldsmith). Завдяки торговій марці відтоді слово “радіола” стало називним.



Нобелівський комітет нагородив 1912 року Нобелівською премією з фізики французького фізика Сержа Ароша (*Serge Haroche*) та американського фізика Девіда Джея Вайнленда (*David J. Wineland*) за "новаторські експериментальні методи, що дають змогу вимірювати та маніпулювати окремими квантовими системами"

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ 2012



Серж Арош



Девід Вайнленд

Ще крок до створення квантових комп'ютерів

Галина Шона,

Львівський національний університет імені Івана Франка

У заяві Шведської королівської академії наук зазначено, що С. Арош і Д. Вайнленд "самостійно придумали та розробили методи вимірювання та маніпулювання окремими частинками, зберігаючи їхню квантовомеханічну природу, способами, які раніше вважалися недосяжними". Як сказав один із членів Нобелівського комітету, дослідження цих науковців – це лише "перші крихітні кроки на шляху до створення квантового комп'ютера".

С. Арошу і Д. Вайнленду вдалося придумати оригінальні методи, що дають змогу вимірювати і контролювати дуже нестійкі квантові стани, "спіймати" які напряду вважали неможливим.

Два незалежно розроблені методи мають багато спільного. Девід Вайнленд укладав у "пастку" заряджені атоми (йони), керуючи ними і вимірюючи їхні параметри за допомогою світла, тобто фотонів.

Серж Арош пішов у зворотному напрямку: вимірюваними в пастці опинилися фотони (частинки світла), які опинилися там під час проходження крізь неї атомів.

Обидва учені працюють у галузі квантової оптики і вивчають фундаментальні взаємодії світла і матерії – ця галузь переживає бурхливий розвиток із середини 1980-х років. Їхні новаторські методи дали змогу всім ученим, які працюють у квантовій оптиці, зробити перші кроки до створення нового типу су-



швидких комп'ютерів – квантових комп'ютерів, що працюють на особливостях квантової природи частинок. Квантові комп'ютери, можливо, змінять наше повсякденне життя вже в цьому столітті також кардинально, як це зробили звичайні комп'ютери у попередньому.

Ще один результат їхніх праць – створення надточних годинників, які в майбутньому можуть стати основою нового стандарту часу, в сто разів точнішого, ніж сучасні цезієві годинники”.

Американський фізик Девід Вайнленд народився 1944 року в Мілуокі (штат Вісконсин, США). Він 1970 року захистив докторську дисертацію у Гарвардському університеті. Нині працює в Національному інституті стандартів і технології (NIST) та університеті в Колорадо Боулдер (штат Колорадо, США).

Д. Вайнленд почав працювати в галузі атомної фізики ще, коли був аспірантом у лабораторії лавреата Нобелівської премії з фізики Нормана Рамзея¹. Далі учений працював в Університеті Вашингтона з Нобелівським лавреатом з фізики Гансом Демельтом². Згодом Вайнленд перейшов працювати до Національного інституту стандартів і технології (NIST), де долучився до створення атомного годинника.

Д. Вайнленд 1978 року вперше продемонстрував технологію лазерного охолодження

йонів. Його праці в цій галузі відкрили дорогу до досліджень Вільяма Філіпса, Стівена Чу, Клода Коена-Таннуджі³, а також Еріка Корнелла, Вольфганга Кеттерле і Карла Вімана⁴. Ці фізики також стали Нобелівськими лавреатами 1997 та 2001 роках, відповідно.

Французький фізик Серж Арош народився 1944 року в Касабланці (Марокко). Він закінчив Вищу нормальну школу у Парижі, у 1971 році захистив докторську дисертацію в університеті П'єра і Марії Кюрі в Парижі. Його науковим керівником був відомий фізик Клод Коен-Таннуджі.

У 1972–1973 рр. працював над постдокторантською програмою в Стенфордському університеті в лабораторії Артура Шавлова⁵ (1972–1973).

Учений 1975 року став повним професором в університеті в Парижі. Цю посаду він обіймав до 2001 року, коли був призначений професором, кафедри квантової фізики у Колеж де Франс, що входить до складу Академії наук Франції.

С. Арош був запрошеним професором у Гарвардському університеті (1981), деякий час він обіймав посаду професора в Єльському університеті (1984–1993)

³Вільям Деніел Філіпс – американський фізик, лавреат Нобелівської премії з фізики 1997 року разом із Клодом Коеном-Таннуджі і Стівеном Чу “за розроблення методів охолодження та локації атомів лазерним випромінюванням”.

⁴Ерік Аллін Корнелл – американський фізик, лавреат Нобелівської премії з фізики 2001 року, разом із Вольфгангом Кеттерле і Карлом Віманом “за досягнення Бозе-Айнштайна конденсата в розріджених газах лужних металів і попередні фундаментальні дослідження властивостей конденсатів”.

⁵Артур Леонард Шавлов – американський фізик, лауреат Нобелівської премії з фізики 1981 року “за внесок у розвиток лазерної спектроскопії” разом із Ніколасом Бломбергеном.

¹Норман Фостер Рамзей – американський фізик, лавреат Нобелівської премії з фізики 1989 року – “за винахід методу роздільних коливальних полів і його використання в водневому мазері та інших атомних годинниках”. Другу половину премії отримали Ганс Демельт і Вольфганг Пауль.

²Ганс Георг Демельт – німецько-американський фізик, лавреат Нобелівської премії з фізики 1989 року – отримав половину премії спільно з Вольфгангом Паулем “за розроблення методу утримання одиноких йонів”.



Учений є офіцером ордена Почесного Леґіону. Він працював у Стенфордському та Гарвардському університетах, Массачусетському технологічному інституті. С. Арош з колегами 1996 року провели експериментальні спостереження квантової декогеренції.

Серж Арош отримав безліч призів та нагород, зокрема Гран-прі Жана Рікарда Французького фізичного товариства (1983), премію Айнштайна за лазерну науку (1988), премію Гумбольдта (1992), медаль Майкельсона Інституту Франкліна (1993), премію Томаші університету Ла Сапіенса (Рим, 2001), премію з квантової електроніки Європейського фізичного товариства (2002), премію з квантової комунікації Міжнародної організації з квантової комунікації, засобів вимірювань та обчислювальної техніки (2002), премію Таунса Американського оптичного товариства, золоту медаль Національного центру наукових досліджень Франції (2009), премію Герберта Вальтера Німецького фізичного товариства та Американського оптичного товариства (2012).

С. Арош є членом Французької академії наук та іноземний член Національної академії наук Сполучених Штатів Америки. Він 2009 року одержав престижний п'ятирічний дослідницький грант від Європейської дослідницької ради.

Австрійський фізик Райнер Блатт сказав, що метод, який розробив С. Арош для керування взаємодією між одним атомом і одним фотоном нині використовують для розроблення способів обміну квантової інформації між атомами і фотонами. Це може допомогти фізикам у створенні квантових комп'ютерів, в яких дані зберігаються у стаціонарних квантових бітах (кубітах) на основі атомів, які є відносно стабільними упродовж тривалого періоду часу. Дані можуть бути передані між атомами за допомогою фотонів, які можуть зберегти свою квантову інформацію під час подорожі на відносно великі відстані.

“Ми працюємо в дуже тісній співпраці з іншими дослідниками і думаю, що в майбутньому буде ще більше Нобелівських премій з фізики у цій галузі”, – сказав Серж Арош.

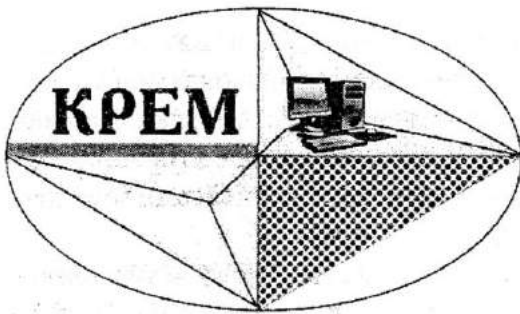


Американський фізик Джон Бардін (його портрет на додатку до журналу “Світ фізики”, № 3 за 2012 р.) – єдиний учений, хто одержав двічі Нобелівську премію з фізики.

Дж. Бардіна разом із В. Браттейном і В. Шоклі 1956 року нагородили Нобелівською премією з фізики “за дослідження напівпровідників та відкриття транзисторного ефекту”.

Удруге Нобелівською премією з фізики Дж. Бардіна нагородили 1972 року “за створення теорії надпровідності, яку називають БКШ-теорією”. Він одержав цю нагороду із Л. Купером та Дж. Шриффером.

Журнал “Лайф” назвав Дж. Бардіна серед ста найвидатніших людей ХХ сторіччя.



КАФЕДРИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 35 РОКІВ

Л. С. Монастирський,

*доктор фізико-математичних наук Львівського
національного університету імені Івана Франка*

У Львівському національному університеті імені Івана Франка на факультеті електроніки 26 жовтня 2012 року відбувся науковий семінар “Сучасні проблеми матеріалознавства”, присвячений 35-річчю створення кафедри радіоелектронного матеріалознавства та пам’яті професора Романа Васильовича Луціва, який очолював кафедру в 1997–2012 рр.

До програми семінару увійшли доповіді про історію діяльності кафедри, життєвий шлях і науково-педагогічну діяльність професора Р. В. Луціва, останні наукові досягнення у радіоелектронному матеріалознавстві.

Із доповідями виступили проректор університету В. С. Височанський, декан факультету електроніки, проф. І. І. Половинко, декан фізичного факультету, проф. П. М. Якібчук, декан хімічного факультету, проф. Я. М. Каличак, декан прикладної математики, проф. Я. Г. Савула, член-кореспондент НАН України, проф. І. В. Стасюк, в. о. завідувача кафедри радіоелектронного матеріалознавства, доц. Л. С. Монастирський, заступник генерального директора НВО “Карат”, проф. О. Й. Шпотюк та ін.

Кафедра радіоелектронного матеріалознавства (КРЕМ) заснована 1977 році на базі фізичного і хімічного факультетів Львівського університету імені Івана Франка та Львівського науково-дослідного інституту матеріалів

(спільний наказ МВССО УРСР і Міністерства радіопромисловості СРСР за № 29/68 від 8 лютого/5 березня 1977 р.; наказ ректора Університету за № 449 від 25 квітня 1977 р.).

Швидкий розвиток радіоелектронної промисловості, впровадження новітніх наукових розробок у виробництво вимагав принципово нового підходу до підготовки молодих спеціалістів для електронної та приладобудівної промисловості, галузевих наукових установ. Треба було поєднати глибоке вивчення радіофізики, фізичного матеріалознавства, комп’ютерного моделювання та математичного прогнозування властивостей та процесів матеріалів електроніки, освоювати новий розділ електроніки – функціональну.

Радіоелектронне матеріалознавство органічно поєднує в собі фізику, хімію та технологію матеріалів. Розвиток електроніки, стрижнем якої стала функціональна електроніка, зокрема акусто-, опто-, магнето-, кріо- і квантова, інтегральна електроніка, мікроелектроніка з надвисоким ступенем інтеграції елементів та наноелектроніка потребує нових підходів до підготовки фахівців. Пізнання та відкриття нових фізичних явищ, їхнє втілення у прилади та технологічні процеси на підставі глибоких знань радіофізики, фізичного матеріалознавства та комп’ютерного моделювання – шлях реалізації цього підходу.



Ректор Львівського університету імені Івана Франка проф. М. Г. Максимович, (ліворуч) у Львівському науково-дослідному інституті матеріалів: (далі) проф. О. Г. Влох, проф. М. О. Цаль, проф. В. Г. Савицький, директор Інституту О. І. Зюбрик, проф. М. О. Романюк, доц. М. С. Веремейчук, проректор з наукової роботи університету проф. Є. І. Гладисевський (1977)

На час відкриття кафедри радіоелектронного матеріалознавства була однією з перших в Україні, де поєднувались загальна і теоретична підготовки студентів у стінах університету з науково-дослідницькою роботою та фаховою підготовкою на базовому підприємстві. Від 1977 року підготовка фахівців велася за спеціальністю "Радіофізика і електроніка" – спеціалізація "Радіоелектронне матеріалознавство" на фізичному факультеті, а від 2003 року ведеться за спеціальністю "Прикладна фізика" – спеціалізація "Радіоелектронне матеріалознавство" на факультеті електроніки.

На кафедрі навчалось на одному курсі до 50 студентів радіофізиків, фізиків та хеміків. Понад 200 випускників було скеровано на роботу в Науково-виробниче об'єднання "Карат" та наукові і виробничі підприємства Львова, Дрогобича, Тернополя; Івано-Франківська, Хмельницького та ін.

До навчального процесу були залучені провідні фахівці Львівського науково-дослідного інституту матеріалів (Л. І. Волженська, Я. В. Бурак, А. О. Матковський, І. Ю. Прокопшин, Д. М. Винник, Г. Г. Зубюк, В. М. Со-

болев та ін.) та викладачі фізичного і хемічного факультетів університету.

До 1983 року кафедрі за сумісництвом очолював директор ЛНДІМ проф. О. І. Зюбрик. Першими викладачами на кафедрі були доц. І. В. Савицький, канд. хем. наук Я. П. Ярмолук, асист. О. В. Футей. Згодом на кафедрі прийшли працювати доц. І. М. Болеста, доц. Б. П. Коман, проф. В. Г. Савицький, доц. А. М. Леновенко, ст. викл. О. І. Харченко, доц. З. М. Яремко, доц. Л. С. Монастирський.

У різні роки кафедрою керували: проф. В. Г. Савицький (1984–1987), директор ЛНДІМ доц. Ю. М. Гаврилук (1988–1990), заступник генерального директора НВО "Карат" М. С. Веремейчук (1992–1996). Упродовж 20 років справами кафедри керував доц. І. В. Савицький, а з березня 1997 року кафедрі очолював проф. Р. В. Луців, який до цього працював на кафедрі фізики напівпровідників. Нині обов'язки завідувача кафедри виконує – д-р фіз.-мат. наук, доц. Л. С. Монастирський (2012).

Викладачі кафедри читали низку оригінальних спецкурсів, зокрема: "Радіоелектронне матеріалознавство" (доц. І. В. Савицький), "Процеси запису та обробки оптичної інформації", "Акустоелектроніка", "Функціональна електроніка", "Основи електронних, йонних та фотонних технологій", (доц. І. М. Болеста), "Спеціальні матеріали електроніки", "Магнетні матеріали і прилади" (доц. Л. Г. Волженська), "Оптимізація і прогнозування в матеріалознавстві", "Ультрарешітчасті речовини та їхній контроль", "Композити і кераміка" (проф. З. М. Яремко) тощо. Удосконалено програми спецкурсів: "Структура твердих тіл", "Плівкове матеріалознавство", "Фізичні методи дослідження матеріалів". В останні роки співпрацівники кафедри розробили і читають деякі комп'ютерні курси.

На кафедрі із спеціалізації "Радіоелектронне матеріалознавство" навчання в університеті поєднане з виконанням окремих лабо-



*Завідувачі кафедри радіоелектронного матеріалознавства
Львівського національного університету імені Івана Франка*

*Верхній ряд (зліва направо): проф. О. І. Зюбрик, директор ЛНДІМ, доц. Ю. М. Гаврилюк,
заступник генерального директора НВО "Карат" М. С. Веремейчук, доц. І. В. Савицький.*

*Нижній ряд (зліва направо): проф. В. Г. Савицький, проф. Р. В. Луців,
в. о. завідувача кафедри, докт. фіз.-мат. наук, доц. Л. С. Монастирський*

раторних, курсових та дипломних робіт, завдань виробничої практики на базі наукового і технологічного обладнання НВО "Карат", де 1995 року відкрито філіал кафедри (очоловав кафедру доц. М. М. Ваків).

На кафедрі функціонують навчальні лабораторії: "Технології напівпровідникових приладів та інтегральних схем", "Методів дослідження властивостей матеріалів", "Структури та властивостей кристалів", "Радіоелектронного матеріалознавства", "Кріоелектроніки", "Електронне навчання". Наявне комп'ютерне обладнання, яке під'єднане до мережі Інтернет, забезпечує щоденну роботу студен-

тів. Всі програмні лабораторні та практичні роботи переважно забезпечені потрібним обладнанням, приладами та інструментами. Така організація навчального процесу сприяє оперативному засвоєнню досягнень науки і техніки, скорочує період адаптації молодого спеціаліста.

Дипломні роботи логічно завершують навчальний процес та науково-дослідну роботу студентів упродовж навчання в університеті. Результати кращих дипломних робіт опубліковують у періодичних наукових виданнях, студенти виступають з доповідями на наукових конференціях та семінарах. Випускників



кафедри, які мають нахил до наукової роботи рекомендують до навчання в аспірантурі, а також для роботи в наукових підрозділах. Кафедра веде підготовку фахівців та спеціалістів вищої кваліфікації через аспірантуру та докторантуру.

Наукові здобутки кафедри РЕМ

На кафедрі РЕМ уперше в Україні 1977 року освоєно методика вирощування монокристалів галій-гадолінієвого гранату (ГГГ) (наук. керівник доц. І. В. Савицький) та впроваджено у ЛНДІМ. Це дало змогу одержати плівки з циліндричними магнетними доменами (ЦМД), які відкривали нову еру в магнетоелектроніці. У цьому ж матеріалі згодом виявлено нове фізичне явище – фотоелектретний стан (І. М. Болеста, І. В. Савицький).

Дуже важливу проблему радіаційної фізики неупорядкованих систем розв'язували під час вивчення стимульованих лазерним та йонізуючим випромінюванням змін фізичних властивостей склоподібних халькогенідів миш'яку (СХМ) (доц. І. В. Савицький, аспіранти

О. Шпотюк, В. Корнелюк, А. Ковальський). Встановлено дозові залежності мікротвердості, зсуву краю фундаментального поглинання, зміни в інфрачервоних спектрах поглинання та електронного парамагнетного резонансу, швидкості поширення акустичних хвиль тощо. Виявлено, що в певних межах доз гамма-випромінювання досягається підсилення ефекту фотопотемніння плівок і масивних зразків СХМ (ефект радіаційної сенсibiliзації фоточутливості). Цей ефект запропоновано використати для дозиметрії йонізуючого випромінювання.

Досліджено особливості структури та фізичних властивостей інтеркальованих металами (Ag, Au, Cu) шаруватих кристалів йодистого кадмію. Показано різний характер взаємодії атомів металу залежно від їхньої концентрації у Ван-дер-Ваальсових щільностях шаруватих кристалів.

Запропоновано модель для опису експериментальних даних, яка ґрунтується на переході від s-p взаємодії між атомами металу та йодом до s-s взаємодії між домішковими атомами. (проф. І. М. Болеста, ас. О. В. Футей).



Доц. І. М. Болеста, доц. Б. П. Коман, ст. викл. І. Ю. Прокопишин, ст. викл. Л. Г. Волженська, зав. каф. РЕМ проф. О. І. Зюбрик, доц. І. В. Савицький, доц. Я. П. Ярмолюк, ст. викл. В. М. Соболев (зліва направо) (1986)



Доц. І. М. Болеста 1996 року захистив докторську дисертацію на тему: “Електронна структура та оптичні спектри домішок у галоїдах типу A_2BX_4 та BX_2 ”. У 1998 році він обійняв посаду завідувача кафедри радіофізики фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка.

З. М. Яремко 1992 року підготував та захистив докторську дисертацію на тему: “Агрегативні процеси у полімервмістких дисперсних системах” (науковий консультант – акад. Ф. Д. Овчаренко). Від вересня 1993 року він – професор кафедри радіоелектронного матеріалознавства, а від 1998 року – завідувач кафедри безпеки життєдіяльності Львівського національного університету імені Івана Франка.

На кафедрі вивчали питання фізикохемії композиційних полімерних і керамічних матеріалів, зокрема проблеми редиспергування високодисперсних порошків у в'язких середовищах, однорідності дисперсних систем (проф. З. М. Яремко). На підставі аналізу балансу далекодальної поверхневої сили між дисперсними частинками та його зміни в процесі редиспергування встановлено умови повного редиспергування частинок порошків.

Від 1997 року наукові зацікавлення кафедри пов'язані з технологічними, теоретичними та експериментальними дослідженнями електричних та магнетних властивостей високотемпературних надпровідникових матеріалів $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ та $HgBa_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+2+\delta}$ $n = 1 - 3$ з температурами надпровідного переходу $T_c = 92 - 134$ К.

На підставі експериментальних залежностей магнетної сприйнятливості від магнетного поля $\chi_{AC}(H)$ розраховано критичні параметри досліджуваних надпровідних матеріалів (H_{c1} , H_{c2j} , $J_c(H)$). Встановлено взаємозв'язок магнетних і транспортних властивостей керамічних ВТНП та їхню кореляцію в поєднанні з характером гранулярності дос-

ліджуваного матеріалу та впливом зовнішніх теплових полів.

З'ясовано закономірності трансформації електронної густини станів у межах феноменологічної моделі вузької зони (доц. О. Й. Бабич).

Проаналізовано зв'язок між особливостями розподілу електронної густини та властивостями членів ртутного ряду з $T_c \approx 134$ К. Показано, що для Hg-ВТНП з $n = 3$ з найбільшим значенням температури надпровідного переходу $T_c \approx 134$ К спостерігається максимальне значення ступеня ковалентності зв'язку Hg-O. Ці особливості інтерпретовано як немонотонний характер зміни ступеня ковалентності хемічного зв'язку в межах ртутного гомологічного ряду з максимумом у сполуці з трьома площинами CuO_2 і зроблено припущення щодо їхнього зв'язку з надпровідними властивостями Hg-ВТНП (асист. Я. В. Бойко).

Досліджені кінетичні явища електро-, масо-, теплоперенесення в неоднорідних напівпровідникових структурах на основі Cd-Hg-Te (КРТ) та Si. Створена методика математичного моделювання за допомогою ЕОМ процесу часової еволюції розподілу складу твердого розчину у варізонних гетероструктурах, класичних надгратках і концентраційних профілів домішок у неоднорідно легovanому матеріалі, яка дала змогу прогнозувати одержання структур із наперед заданими властивостями (доц. Л. С. Монастирський (1996–2002)).

Уперше враховано вплив неоднорідності зонної структури та величини електронної спорідненості на міграцію заряджених домішок. Враховано вплив термопружних, термодифузійних, термоелектричних полів на міграцію йонізованих домішок за імпульсного (лазерного) впливу на легований кремній.

За допомогою плавних варізонних структур досліджено закономірності зміни механічних властивостей твердих розчинів CdHgTe,



CdHgSe, ZnHgTe від складу твердого розчину. Показано, що мікротвердість та її анізотропія змінюються немонотонно зі зміною компонентного складу. Екстремум залежності пов'язаний з генерацією в процесі деформування ефективних стопорів рухомих дислокацій (1975–1995).

На кафедрі успішно проводяться роботи, пов'язані з розробленням лабораторних технологій отримання низькорозмірних структур світловиpromінювального поруватого кремнію (доц. Л. С. Монастирський, інж. І. Б. Оленич) (від 1996 р.). Досліджено вплив кристалографічної орієнтації, типу електропровідності, ступеня поруватості та технологічних умов отримання на фотолюмінесцентні та поляриметричні властивості поруватого кремнію. Для встановлення механізму світловиpromінювання поруватого кремнію застосовано взаємодоповнювальні методи Оже-електронної спектроскопії, фототермостимульованої екзоемісії та ЕПР.

Від 2009 року під науковим керівництвом доц. Л. С. Монастирського та гол. наук. співроб. О. І. Аксіментьєвої виконуються спільні науково-дослідні теми: “Механізм взаємодії компонентів, електронні та транспортні процеси у гібридних наносистемах полімер-напівпровідник”, “Фізико-хімія гібридних наноструктур на основі спряжених полімерів, карбонових, магнетних нанокластерів та просторово-неоднорідних напівпровідників”.

Підвищення кваліфікації педагогічних працівників кафедри здійснювалося під час навчання в аспірантурі та стажування в провідних навчальних закладах України та за кордоном. На кафедрі функціонує аспірантура.

На кафедрі є науково-дослідна лабораторія “Радіоелектронне матеріалознавство”, де переважно зосереджена наукова діяльність викладачів, науковців та студентів старших курсів.

Науково-дослідна тематика на кафедрі ведеться у таких напрямках:

– Фізико-хімія гібридних наноструктур на основі спряжених полімерів, карбонових, магнетних нанокластерів та просторово-неоднорідних напівпровідників;

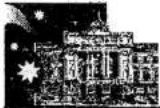
– Явища переносу та електронні процеси в низькорозмірних твердотільних структурах фрактального типу;

– Високотемпературні ртутновмісні надпровідникові матеріали.

Розроблено технологію формування поруватого кремнію n- і p-типу провідності, кристалографічних орієнтацій (111), (110), (100) та неруйнівна методика оцінки ступеня поруватості зразків в діапазоні 5–80 % на підставі еліпсометричних вимірювань. Експериментально досліджено явища зарядопереносу в мезопоруватому кремнію методами ВАХ, ТСД, ФТСД, C–U характеристик, імпедансно – частотних вимірювань. Зокрема досліджено характер впливу зовнішньої атмосфери на імпедансні та оптико-люмінесцентні властивості поруватого кремнію.

На підставі результатів сканувальної електронної та атомно-силової мікроскопії гібридних шарів підтверджено організацію їхньої структури на нанорівні та впровадження органічних нанокластерів (спряжені полімери, фулерен, нанотрубки) у поруваті матриці кремнію. Аналіз ІЧ спектрів із перетворенням Фур'є дав змогу виявити природу взаємодії компонентів у гібридних структурах. Наявність полімеру, інтегрованого в пори кремнію, спричиняє суттєву зміну спектрів фотолюмінесценції – зміщення найінтенсивніших смуг випромінювання в бік менших довжин хвиль, та появу додаткових смуг ФЛ. Отримані результати підтверджують значний вплив полімерного компонента на люмінесцентні властивості поруватого кремнію.

Особливістю гібридних систем на основі поруватого кремнію є змога формувати наноструктури з величезною питомою площею



поверхні, що сприяє високій чутливості сенсорів до адсорбованих газів. Виявлено, що під час адсорбції газових молекул на поверхні ПК спостерігаються адсорбоелектричні ефекти, які можуть призвести до значних змін електрофізичних параметрів сенсорних структур, які легко рееструються (наприклад, провідність або електрична ємність), і можуть бути використані для створення газочутливих сенсорів. Досліджено люмінесцентні властивості низькорозмірних гібридних структур, які сформовані на основі ПК, модифікованого полімерами. Зареєстровано вплив газового оточення (етанолу, аміаку) на фотолюмінесценцію поруватого кремнію, зменшення інтенсивності і зміщення максимуму випромінювання в короткохвильову ділянку спектра на 15–30 нм. Отже, зміна молекулярного покриття поверхні впливає на процеси рекомбінації носіїв заряду.

Освоєно методику числового розв'язку нелінійних нестационарних диференціальних рівнянь у частинних похідних 2-го порядку. Вивчено явища тепло-, масопереносу під час імпульсного нагріву гетероструктури поруватий кремній – кремнієва підкладка в наближенні суцільного середовища. Розраховано вплив геометрії та розміру пор на фотопровідність мезопоруватого кремнію.

За результатами наукових досліджень одержано понад 30 авторських свідоцтв (патентів), опубліковано майже 400 статей в українських та іноземних наукових журналах.

Кафедра співпрацювала з факультетом хемічних технологій (Fachhochschule Muenster, ФРН) у галузі неорганічної хемії і матеріалознавства, яка передбачала спільні дослідницькі проекти, обмін науковою інформацією і літературою, спільні публікації та представлення результатів на міжнародних конференціях і розвиток спільних навчальних програм.

Кафедра радіоелектронного матеріалознавства Львівського національного університету імені Івана Франка співпрацює з Інститутом

фізики НАН України, а також із Дрогобицьким державним педагогічним університетом імені Івана Франка.

Кафедра радіоелектронного матеріалознавства має наукові контакти з низкою іноземних організацій, зокрема з Університетом прикладних наук (м. Мюнстера, Німеччина), Інститутом фізики Польської академії наук (м. Варшава, Польща), Університетом М. Кюрі–Склодовської (м. Люблін, Польща), ІЗНХ НАНБ (м. Мінськ, Білорусь). Можливими споживачами результатів наукових напрацювань можуть бути підприємства мікроелектронного профілю, інститути Національної академії наук України, установи Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Для наукової роботи та виконання курсових, дипломних робіт на кафедрі використовують нижче перелічені пристрої та засоби:

Рентгенофазовий і рентгеноструктурний аналізи – рентгенівський дифрактометр ДРОН-4-07 і програмне забезпечення (DIRDIF, EXPO, GSAS, FULLPROF, DBWS).

Синтез матеріалів – спеціально сконструйовані печі резистивного нагріву. Регулювання температурних умов – програмні терморегулятори типу РИФ-101 (точність підтримування температури $\pm 0,1$ К).

Термогравіметричні дослідження – удосконалена установка Q – 1500 D (Угорщина).

Проводяться вимірювання:

– магнетної сприйнятливості в постійному магнетному полі проводилися за методом Фарадея² – спеціально сконструйована установка з використанням електронної ваги типу ЕМ-1-3 МП та магнетних полів спеціальної конфігурації 0 – 4000 Е.

– магнетної сприйнятливості на змінному струмі – міст Хартшорна з наступним швидким Фур'є-перетворенням. Діапазон температур 77–300 К, величина зміни амплітуди магнетного поля 5–100 Е і постійного 0–5000 Е.



– електрофізичні та гальваномагнетні вимірювання – установка “ВЕСНА” (напрацювання Донецького фізико-технічного інституту НАНУ); магнетні поля до 8,8 Т, температурний інтервал 77–300 К.

– термостимульованої провідності і деполяризації в температурному діапазоні 77–300 К.

– спектри фотолюмінесценції та газоадсорбційних процесів у поруватих структурах.

Теоретичні обчислення – модифікована програмна реалізація методу FPLMTO для обчислення зонної структури ВТНП на серійних РС, Symmetric Multiprocessors і Beowulf Clusters.

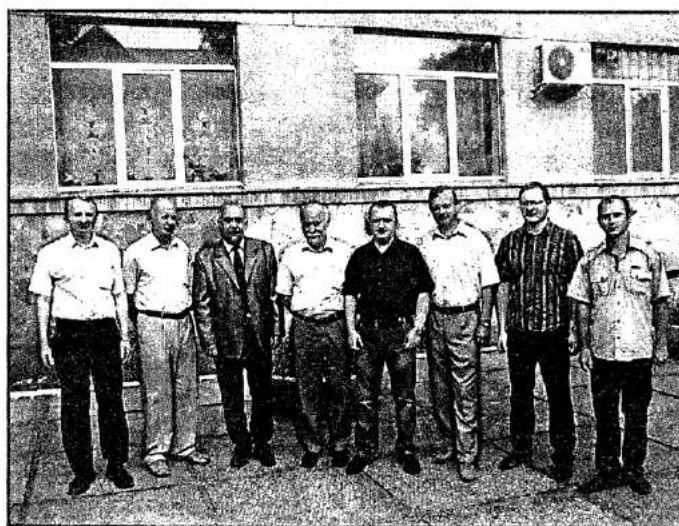
Обробка матеріалу неперервним лазерним випромінюванням – ЛГ-23, ЛГ-704 і установка типу “Катунь”; імпульсним лазерним випромінюванням – ГУК-400, ГОС-301, “Квант-16” і ГОР-300.

На кафедрі працює бібліотека спеціальної літератури, зокрема дисертаційні роботи співпрацівників кафедри, фахові журнали, методичні розробки. В електронному варіанті наявні копії статей іноземних та українських

авторів з наукової тематики кафедри (800 статей), демонстраційний матеріал для читання лекційних курсів кафедри.

На кафедрі є досить обширне програмне забезпечення для поглибленого вивчення матеріалу спецкурсів та проведення практичних занять. Лабораторії кафедри під’єднані до локальної комп’ютерної мережі кафедри, факультету, університету та глобальної інформаційної мережі Інтернет.

У межах педагогічного експерименту на кафедрі РЕМ відпрацьовують модель “електронного навчання”. Така ж форма дистанційного навчання популярна у Західній Європі. Ми її використовуємо для самостійної роботи студентів, що є важливим елементом Болонської системи освіти. Мета і зміст “електронного навчання” аналогічне як і для очного навчання, але форма подачі матеріалу і форма взаємодії викладачів та студентів і студентів між собою різні. Це зумовлено можливостями інформаційного середовища Інтернет та його послугами.



*Колектив кафедри радіоелектронного матеріалознавства (2012) (зліва направо):
ст. викл. Я. В. Бойко, доц. О. Й. Бабич, в. о. зав. каф., доц. Л. С. Монастирський,
асист. О. В. Футей, зав. лаб. П. П. Парандій, асист. І. Б. Оленич,
аспірант М. Р. Павлик, лабор. С. П. Заставний*



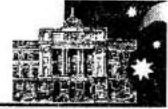
Роман Васильович Луців
(1937–2012)

У 1997–2012 роках завідувачем кафедри радіоелектронного матеріалознавства Львівського національного університету імені Івана Франка був відомий учений, лавреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор Роман Луців.

Роман Васильович Луців народився 23 жовтня 1937 року у м. Львові. У 1959 році закінчив фізичний факультет Львівського університету імені Івана Франка. Наукову діяльність розпочав з посади лаборанта науково-дослідної лабораторії. У 1959 році очолив науково-дослідну лабораторію росту та дослідження фізичних властивостей кристалів. У цей час Р. Луців активно працював у галузі синтезу і дослідження електрофізичних властивостей напівпровідникових матеріалів типу A^2B^6 , яка стала основою напівпровідникових досліджень та передумовою утворення кафедри фізики напівпровідників. Продовженням робіт у цьому напрямі був синтез, вирощування і дослідження монокристалів систем на основі халькогенідів ртуті.

Р. Луців зробив значний внесок у розроблення методики вирощування монокристалів HgS і чистих, і з різними домішками та комплексні дослідження властивостей цього матеріалу. За його участі виконано великий цикл технологічних досліджень, завдяки яким розроблено декілька методів одержання монокристалів і тонких шарів різних модифікацій сірчистої ртуті. Подальший розвиток напівпровідникової тематики був пов'язаний із синтезом і вирощуванням монокристалів систем $HgSe-HgS$, $HgTe-HgS$, $HgTe-MnTe$. Ці системи зайняли важливе місце в комплексних дослідженнях напівпровідників із вузькою забороненою зоною та великою рухливістю носіїв заряду. Вдосконалено методику вирощування монокристалів подвійних сполук і твердих розчинів на їхній основі, проведені систематичні дослідження дефектів структури, електрофізичних, фотоелектричних та оптичних властивостей цих сполук. Результати досліджень лягли в основу кандидатської дисертації "Синтез та дослідження фізичних властивостей твердих розчинів халькогенідів ртуті ($HgSe-HgS$, $HgTe-HgS$)", яку Роман Васильович захистив 1967 року.

У 1960–1970-х роках за активної участі Р. Луціва на кафедрі фізики напівпровідників проводять дослідження вузькозонних напівпровідникових сполук A^2B^6 , зокрема, твердих розчинів кадмій-ртуть-телур (КРТ), плівкових систем на їхній основі, варізонних структур. Розроблено оригінальні оптимальні технологічні методи вирощування монокристалів твердих розчинів на основі халькогенідів ртуті $CdTe-HgTe$. Розроблена в ті часи технологія одержання досконалих об'ємних зразків $Cd_xHg_{1-x}Te$ дала змогу провести дослідження електрофізичних властивостей цих кристалів, визначити та уточнити основні параметри їхньої зонної структури. Створені нові методи одержання епітаксійних шарів цих напівпровідників і запропонована технологія створення приладів на їхній основі.



Від 1975 року на фізичному факультеті Львівського університету під керівництвом Р. Луціва сформовано новий напрям досліджень з фізики силіцидів і германідів рідкісноземельних та перехідних металів з метою застосування їх у мікроелектроніці, з'ясування впливу компонент на характер міжатомних взаємодій та фізичні властивості. За цикл робіт, зокрема за дослідження з хемії, кристалохемії та фізики силіцидів і германідів рідкісноземельних та перехідних металів, розроблення на їхній основі нових матеріалів електронної техніки Р. Луціва у складі авторського колективу нагородили Державною премією УРСР в галузі науки і техніки (1984). Наприкінці 1980-х – початку 1990-х років ці роботи розвинулись у напрям фізики сильнокорельованих конденсованих систем. Отримано важкоферміонні системи силіцидів церію з міддю, які мають “екзотичну” надпровідність.

З 1987 року в коло наукових зацікавлень Р. Луціва входять технологічні, теоретичні та експериментальні дослідження електричних і магнетних властивостей високотемпературних надпровідникових матеріалів $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, а від 1993 року – $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+\delta}$ ($n = 1 - 3$) з температурами надпровідного переходу $T_c = 92 - 134$ К. Групою науковців під його керівництвом проведено великий обсяг результативної дослідницької роботи в напрям вивчення особливостей формування надпровідної кераміки, дослідження фізичних властивостей ВТНП у нормальному та надпровідному станах. Зокрема, встановлено взаємозв'язок між технологіями одержання надпровідних матеріалів і їхніми фізичними параметрами, оптимізовано процес синтезу Hg-1223 шляхом використання шихти на основі прекурсорів. Встановлено особливості впливу лазерного випромінювання на кераміку Y-VTNP з погляду зміни електрофізичних характеристик. З'ясовано можливості збільшення критичних струмів шляхом зміни морфології

поверхні, ущільненням приповерхневих шарів, збільшенням однорідного розподілу компонент, зменшення домішкових вуглецевих фаз, зміни кисневого індексу, збільшенням ступеня текстурації в площині (a, b). Кількісно описано гістерезис магнетної сприйнятливості з врахуванням у моделі критичного стану Біна від характеру міжзеренних зв'язків (надпровідник-ізолятор-надпровідник, надпровідник-нормальна фаза-надпровідник). Проаналізовано вплив розмірності гранул та розорієнтації на гістерезис $c_{AC}(H)$. З'ясовано закономірності трансформації електронної густини станів у межах феноменологічної моделі вузької зони. Проведено теоретичні обчислення з використанням експериментальних даних по впливу легування та дефектності кисневої підсистеми на особливості електронної густини станів тощо.

Науковий доробок професора Р. Луціва відображений у понад 400 публікаціях, 25 авторських свідоцтвах. Під його керівництвом захищено сім кандидатських дисертацій.

Професор Р. Луців проводив значну педагогічну та організаторську роботу. Він є автором великої кількості нових навчальних курсів для студентів фізичного факультету та факультету електроніки. У 1967–1968 рр. працював начальником науково-дослідної частини, у 1970–1974 рр. – проректором з навчальної роботи Львівського університету. У 1995–1997 рр. виконував обов'язки заступника декана фізичного факультету. У 1997 р. його призначили завідувачем кафедри радіоелектронного матеріалознавства та очолював її до 2012 року.

Р. Луців упродовж багато років був членом експертної ради з фізики Міносвіти України, членом редколегій “Вісника Львівського університету (серія Фізична)”, “Журналу фізичних досліджень”. За багаторічну сумлінну працю йому присвоєно звання Почесного професора Львівського національного університету імені Івана Франка.



ТРОХИ ФІЗИКИ ФУТБОЛУ

Ярослав Шопя,

професор Львівського національного університету імені Івана Франка

Шкіряна куля?

Перший промисловий гумовий футбольний м'яч виготовили в середині XIX ст.

Згодом м'яч став багатошаровим зі шкіряним покриттям.

Нині переважно використовують синтетичні матеріали, оскільки шкіра вбирає воду і м'яч стає важким.

Офіційний м'яч Чемпіонату Європи з футболу 2012 розробила компанія Adidas. Його назва Tango 12 складається з двох частин. Перша присвячена танцю танго, а друга частина назви – Євро-2012. Розроблення цієї моделі тривала два роки. Хоча футбольні коментатори часто називають футбольний м'яч шкіряною кулею чи сферою, це швидше данина історії. Насправді ця сфера складається з 32-х термічно склеєних трикутних панелей із поліуретану – синтетичного еластомеру, який завдяки міцності широко застосовують у промисловості під час виробництва предметів, що працюють в агресивних середовищах, за умов великих змінних навантажень і температур.

Текстура поверхні кожної панелі допомагає краще контролювати м'яч польовим гравцям і тримати круглу сферу в руках воротарям. Зовнішній шар Tango 12 має п'ять поліуретанових шарів, які забезпечують оптимальний контакт м'яча з ногою футболіста. До того ж, це покриття не чутливе до змін погодних умов.

Внутрішній шар – щільне покриття, що зв'язує текстильний субстрат із верхніми шарами, над ним – синтетична піна завтовшки майже три міліметри з клітинами, заповнені склом, завдяки чому м'яч зберігає свою фор-

му. Також під зовнішнім шаром м'яча розташована бутилкаучукова камера для поліпшеного утримування повітря.

Отже, сучасний футбольний м'яч є високотехнологічним витвором, який увібрав найновіші досягнення фізики та хемії.

Існує декілька розмірів м'ячів (від 1-го до 5-го). В офіційних матчах використовують м'яч п'ятого розміру діаметром приблизно 22 см і масою не більше 450 г. Надлишковий (над атмосферним) тиск повітря всередині м'яча від 0,6 до 1,1 атмосфери. Під час виготовлення передбачено контроль форми м'яча, відповідна апаратура вимірює його радіус за 45 000 вимірами, не допускаючи відхилення ± 1 мм від середнього. Важливими є також водостійкість, сталий тиск повітря.

Однією з найважливіших властивостей м'яча є його пружність, яку контролюють тестом на підскакування. Пружність має вирішальне значення для гравців, особливо під час зупинки м'яча після довгих пасів. Від неї залежить й початкова швидкість польоту після удару.

У лабораторії м'яч десять разів опускають на сталеву пластину з висоти двох метрів. Залежно від температури, він має відскакувати на висоту 135–155 см.

Швидкість м'яча

Один з найцікавіших тестів, який проводять під час випробовування м'ячів – нога робота (roboleg). Бутса, що на ній закріплена, може розвинути максимальну швидкість 150 км/год. М'яч же під час удару набуває в 1,6 раза більшої швидкості – приблизно



240 км/год. Реальні цифри ударів професійних футболістів у середньому майже 100 км/год для ноги й, відповідно, 160 км/год для м'яча.

Для вимірювання швидкості м'яча на спеціальний комп'ютер подають дані з двох відеокамер, встановлених на певній віддалі одна від одної. Далі, як у шкільній задачі – шлях поділений на час дорівнює швидкості.

Очевидно, що вирішальним чином швидкість м'яча після удару залежить від опору повітря. Відповідні розрахунки можна виконати на підставі добре відомих законів та співвідношень.

Сила опору повітря $F_{\text{оп}}$, що діє на м'яч, зростає пропорційно до квадрату швидкості v , і дорівнює:

$$F_{\text{оп}} = \frac{1}{2} C \rho_m S v^2,$$

де ρ_m – середня густина м'яча; S – площа його поперечного перерізу; C – коефіцієнт опору, який також залежить від швидкості руху м'яча та дуже суттєво від числа R Рейнольдса (безрозмірного параметра, що характеризує співвідношення сил інерції та сил внутрішнього тертя в потоці рідини чи газу).

Для малих швидкостей число

$$R = \rho v D / \mu,$$

де D – діаметр м'яча; μ – кінематична в'язкість повітря; ρ – густина повітря.

Якщо $R \ll 1$ (фактично для малих швидкостей v), то сила опору повітря дорівнює:

$$F_{\text{оп}} = 3\pi\mu v D,$$

тобто пропорційна до швидкості. Під час розрахунків сили опору важливо правильно встановити число Рейнольдса, яке може набувати значень від 1 до 10^5 .

Експериментально встановлено, що коефіцієнт опору C раптово зменшується у той

момент, коли потік повітря на поверхні м'яча перетворюється з ламінарного в турбулентний. На рис. 1 видно, що залежно від якості поверхні це зменшення настає для різних R .

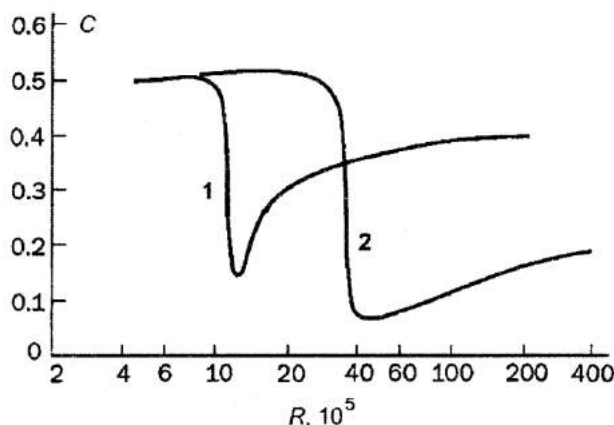


Рис. 1. Залежність коефіцієнта опору C повітря для сферичних тіл із нерівною (1) та гладкою (2) поверхнею від числа R Рейнольдса. Значне зменшення коефіцієнта настає після переходу потоку повітря від ламінарного до турбулентного

Якщо потік повітря ламінарний, коефіцієнт опору високий, оскільки приповерхневий шар повітря швидко відокремлюється від м'яча і створює на своєму шляху завихрення. Однак, якщо повітряний потік турбулентний, приповерхневий шар перебуває біля м'яча довше, це призводить до пізнішого відокремлення і меншого опору повітря.

Тому число Рейнольдса, за якого коефіцієнт опору падає, залежить від нерівностей на поверхні тіла. Наприклад, м'ячі для гольфу, які покриті заглибинами, мають достатньо високу шорсткість поверхні, тому коефіцієнт опору падає за відносно низького числа Рейнольдса. Однак поверхня футбольного м'яча гладка, тому критичний перехід відбувається за набагато більшого числа Рейнольдса ($\sim 40 \cdot 10^5$).



У результаті на футбольний м'яч, що летить повільно, діє відносно більша сила опору. Але якщо удар по м'ячу сильний, повітряний потік входить у турбулентний режим, а гальмувальна сила стає меншою. М'яч не тільки рухається з високою швидкістю, а й не сповільнюється настільки, наскільки можна було б очікувати. Так що на інтуїтивному рівні добрим воротарям потрібно знати фізику набагато краще, ніж здається з першого погляду.

Справжні вболівальники добре пам'ятають штрафний удар бразильця Роберто Карлоса на турнірі у Франції влітку 1997 року.

Реальна швидкість "пострілу" Роберто Карлоса зі штрафного по воротах збірної Франції – 136 км/год! Це не найсильніший його удар. Одного разу від спромігся надати м'ячеві швидкості 198 км/год.

Вважають, що рекорд було встановлено 2010-го року на чемпіонаті світу у Південно-Африканській Республіці. Тоді німецький нападаючий Лукас Подольскі завдав удару по воротах збірної Австралії.

М'яч летів лише 16 метрів, але з початковою швидкістю 201 км/год!

"Сухий лист" Лобановського

"Сухий лист" – у футболі так називають траєкторію м'яча після надання йому обертання навколо осі, що перпендикулярна до напрямку польоту. Назва відображає закрученість і складність польоту м'яча по дуже крутій траєкторії, після чого він раптово опускався за спиною воротаря під поперечину.

Майстерним виконавцем "сухого листа" з кутового удару був Валерій Лобановський – відомий український футболіст і тренер, багаторічний наставник київського "Динамо". За свою кар'єру гравця Лобановський забив з кутового немало таких голів у різних турнірах (рис. 2). Лобановського також порівнювали з видатним тогочасним майстром виконання цього технічного елемента, бразильцем Діді – чемпіоном світу 1958 року.

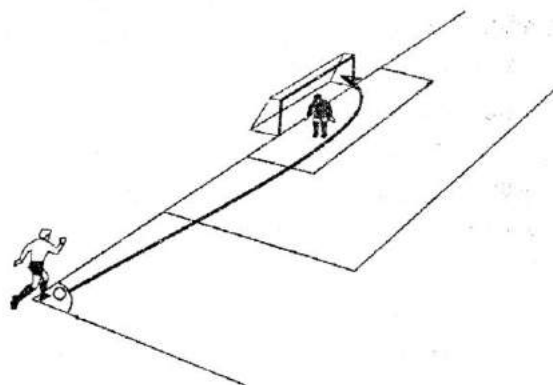


Рис. 2. Часто після ударів В. Лобановського м'яч влітає у ворота безпосередньо з кутового

Фізичний механізм викривлення траєкторії футбольного м'яча такий же, як і у м'ячів з інших видів спорту – бейсбол, гольф, крикет, теніс.

Нехай м'яч обертається навколо осі, що перпендикулярна до потоку повітря навколо нього (рис. 3). Повітря рухається швидше відносно центра м'яча, коли зовнішня частина м'яча рухається в тому ж напрямку, що й повітряний потік. Це знижує тиск відповідно до відомого принципу Бернуллі. На іншому боці відбувається протилежний ефект – повітря рухається повільніше відносно центра, тиск зростає.

Перше пояснення явища викривлення траєкторії руху предметів, що обертаються, дав німецький фізик Густав Магнус 1852 року. Магнус намагався встановити причину значного розсіяння куль від лінії прицілювання після пострілу. За його дослідженнями на тіло, яке обертається, діє сила, що перпендикулярна до напрямку його поступального руху. Сьогодні її називають силою Магнуса. Саме тому снайперська стрільба сферичними кулями з гладко ствольних рушниць є неможливою, а розповіді про умілих мисливців, як про Звіробоя в однойменному романі Фенімора Купера, є все-таки вигадкою авторів.



Отже, на тіла сферичної форми, які обертаються, діє сила Магнуса перпендикулярно до напрямку їхньої швидкості:

$$F_M = \frac{1}{2} C_M \rho S v^2,$$

де C_M – коефіцієнт, який пропорційний до так званого параметра обертання

$$P_{об} = \frac{D\omega}{2v},$$

тобто залежить від співвідношення між кутовою швидкістю ω обертання м'яча та його лінійною швидкістю v .

Для параметрів обертання від 0,5 до 4,5 коефіцієнт C_M перебуває в діапазоні від 0,2 до 0,6.

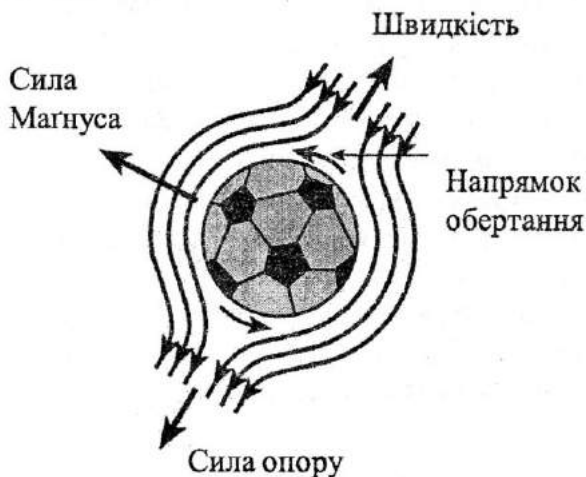


Рис. 3. Виникнення сили Магнуса під час руху м'яча, що обертається

На м'яч, що обертається в повітрі, діє одразу три сили: сила тяжіння, сила Магнуса і сила опору.

Сила опору діє проти напрямку руху м'яча і суттєво залежить від його швидкості.

Сила тяжіння перпендикулярна до площини футбольного поля. У результаті м'яч відхиляється внаслідок ефекта Магнуса.

Припустимо, що швидкість м'яча становить 30 м/с, а швидкість обертання 8–10 об/с. Тоді за розрахунками сила Магнуса має дорівнювати приблизно 3,5 Н. Оскільки маса м'яча відома, то його пришвидження становитиме 8 м/с^2 . За одну секунду м'яч пролетить менше, ніж 30 м, але сила Магнуса змусить його відхилитися на цілих 4 м від прямої лінії, цілком достатньо, щоб обігнути "стінку" із футболістів і дезорієнтувати воротаря.

Ще 1976 року Пітер Бірман та його колеги з Імперського коледжу в Лондоні провели серію класичних експериментів з м'ячами для гольфу. Вони з'ясували, що за сталої кутової швидкості обертання ω збільшення швидкості v польоту м'яча призводить до зменшення сили Магнуса. Це означає, що на футбольний м'яч, який летить повільно, діятиме більша відхиляюча сила, ніж на швидко рухомий м'яч, що обертається з такою ж кутовою швидкістю. З уповільненням м'яча в кінці його польоту траєкторія суттєво викривлюється також завдяки силі тяжіння. Важливо однак, щоб кутова швидкість обертання м'яча не зменшувалася внаслідок тертя.

Фізики пояснили удар Роберто Карлоса

Тепер можна пояснити штрафний удар Роберто Карлоса.

М'яч був встановлений приблизно за 35 м від воріт суперників, ближче до правого краю поля. Після удару Карлоса, м'яч полетів трохи у правий бік, обігнув "стінку" приблизно за метр від неї.

Хлопчик, який перебував за воротами пригнув голову, вважаючи, що м'яч пролетить над ним. Але після цього дивним чином м'яч повернув ліворуч, зачепив стійку і влетів у правий кут воріт збірної Франції (рис. 4).

На інтуїтивному рівні добрим воротарям потрібно знати фізику набагато краще, ніж здається з першого погляду.

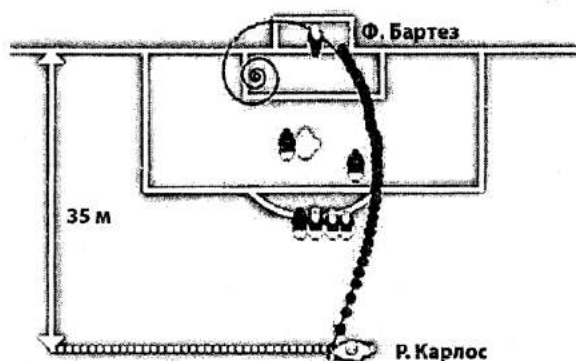


Рис. 4. Траскторія руху м'яча після удару Роберто Карлоса, яку розрахували фізики. Позначені положення м'яча з інтервалом 0,1 с. Зображено також теоретичну криву, якою пролетів би м'яч за відсутності сили тяжіння та за сталої кутової швидкості обертання

Карлос вдарив по м'ячу зовнішнім боком лівої ноги, щоб надати йому обертання проти годинникової стрілки. Поле було сухим, тому кутова швидкість обертання була високою, ймовірно понад 10 обертів за секунду. Сильний удар зовнішнім боком ноги дав змогу надати м'ячеві значної швидкості – понад 30 м/с. Потік повітря над поверхнею м'яча на початку руху був турбулентним, що за рис. 1 призвело до відносно низького рівня опору. Після приблизно однієї секунди польоту (це відповідає 10-ій точці на рис. 4, м'яч поруч зі стінкою) швидкість м'яча внаслідок опору повітря знизилася настільки, що він перейшов у ламінарний потік. Це суттєво збільшило силу опору, яка ще більше сповільнила політ м'яча і, в свою чергу, збільшила бокову силу Магнуса, вигинаючи траєкторію м'яча в напрямку воріт.

З уповільненням м'яча (наступні 25 м м'яч пролетів приблизно за 3,5 с) викривлення траєкторії продовжувало зростати (можливо, через збільшення коефіцієнта C_M сили Магнуса), поки м'яч не опинився у воротах Фаб'єна Бартеза, голкіпера французької збірної.

Виконання такого удару вимагає неабиякої майстерності від футболіста. Результати експериментів також показали, що обертання м'яча тісно пов'язане з коефіцієнтом тертя між ногою футболіста і м'ячем, а також від зміщення точки удару відносно центра м'яча. Збільшення коефіцієнта тертя між м'ячем і ногою викликає збільшення швидкості обертання м'яча. Окрім того, швидкість обертання зростає, якщо точка удару по м'ячу віддаляється від його центра. Якщо ця віддаль зростає, нога затримується на м'ячі упродовж коротшого часу і контактує з меншою площею його поверхні. У результаті і швидкість обертання, і швидкість польоту м'яча зменшуються.

Отже, щоб надати м'ячу максимальної швидкості обертання, потрібно вибрати оптимальне місце для удару: якщо футболіст завдає удару занадто близько або занадто далеко від центра, м'яч не набуде достатньої кутової швидкості обертання.

Цікаво, що навіть за умови нульового коефіцієнта тертя, м'яч все одно обертатиметься, якщо по ньому вдарити не по центру. Тому можна закручувати м'яч і під час дощу, хоча швидкість обертання тоді буде значно меншою, ніж за умов сухої погоди.

1. <http://footballs.fifa.com/Home>
2. Bearman P., Harvey J. Golf Ball Aerodynamics / *Aeronautical Quarterly*, 1976. – Vol. 27. – P. 112–122.
3. Asai T., Akatsuka T., and Haake S. The physics of football / *Physics World*, 1998. – N 6. – P. 25–27.
4. Dupeux G., Le Goff A., Quéré D., and Clanet Ch. The spinning ball spiral / *New Journal of Physics*, 2010. – N 12. 093004.
5. <http://www.youtube.com/watch?v=W5XpXU8TBoo>

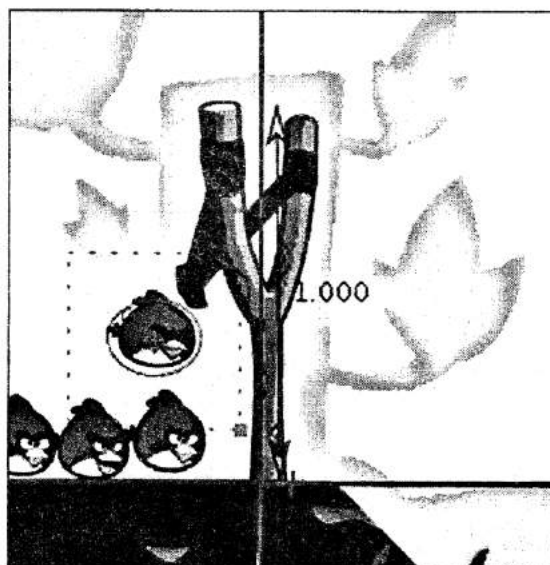


Механіка об'єктів у грі ANGRY BIRDS

Шедевр від Rovio за назвою Angry Birds усе більше людей називають найпопулярнішою і найкращою комп'ютерною грою всіх часів і народів. Упродовж останніх років вийшло чимало нових версій цієї казкової забавки, яка обросла легендами і міфами, про поганих поросят, які викрали у пташок їхні яйця, а ті почали мстити з відважністю, гідною самураїв.

Однак деякі фізики-гумористи, як той Станіславський, крикнули: “Не вірю!”, та вирішили розібратись, наскільки ця гра-казка відповідає реальності Всесвіту, в якому живемо ми, люди.

Два роки тому на інтернет-ресурсі <http://www.wired.com/wiredscience/2010/10/physics-of-angry-birds/> з'явилась стаття Ретта Аллена *The Physics of Angry Birds*, де було оцінено розмір одного з найголовніших персонажів гри, Червоного птаха (Red bird) за балістичною динамікою. Для цього було використано програмний пакет Tracker Video analysis (є безкоштовні версії для Windows, Mac і Linux), що дає змогу панорамувати та масштабувати картинку на відео зображенні для аналізу механіки рухомих об'єктів.



Як відео було використано ролик “проходження” гри (англ. – walkthrough) на Youtube (<http://youtu.be/9-hjAY0XpvE>).

Із загального курсу механіки відомо рівняння руху для об'єкта, якого кинули під кутом до горизонту.



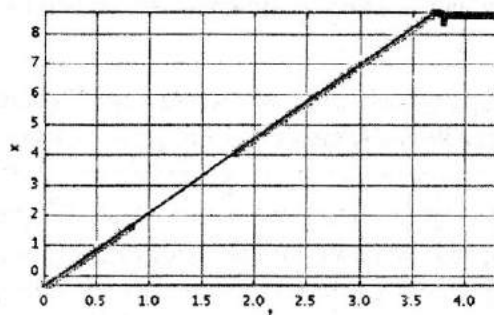
Зручно записувати два рівняння – для горизонтальної та вертикальної осей:

$$y = y_0 + v_y t + \frac{gt^2}{2},$$

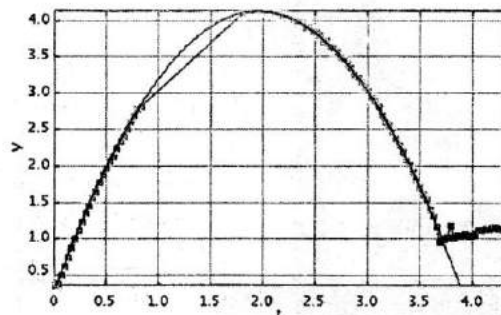
$$x = x_0 + v_x t.$$

де g – пришвидшення вільного падіння.

Якщо проаналізувати зміну в часі положення Червоного птаха по осях OX і OY , не задаючи розміри і відстані у відносних одиницях, то можна їх розрахувати. У Аллена розмір Червоного птаха вийшов 70 см. Тобто маємо “дуже великого Злого Птаха”.



Fit Name: Line		Fit Builder...	
Fit Equation: $x = a*t + b$		Parameter	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Autofit	rms dev: 1.421E-2	a	2.460E0
		b	-3.668E-1

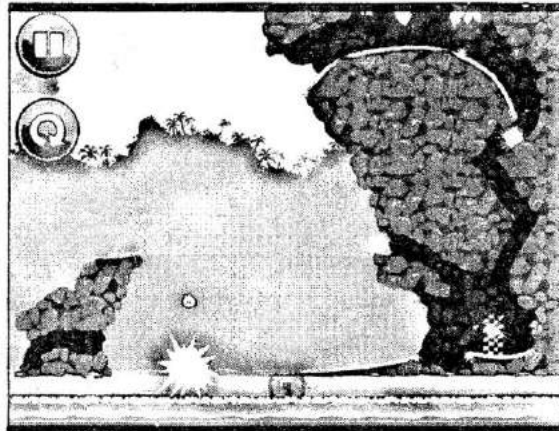


Fit Name: Parabola		Fit Builder...	
Fit Equation: $y = a*t^2 + b*t + c$		Parameter	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Autofit	rms dev: 1.955E-2	a	-1.009E0
		b	3.946E0
		c	2.681E-1

Нещодавно з'явилася інша стаття, присвячена іншій забавці цієї серії –

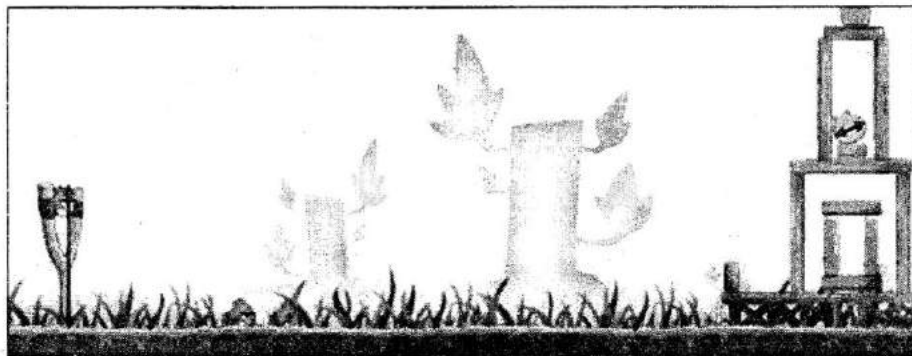
Bad piggies (<http://www.wired.com/wiredscience/2012/10/how-big-are-the-bad-piggies/>).

У ній також розраховували розміри, але уже антагоністів наших героїчних птахів – Поганих свиней.

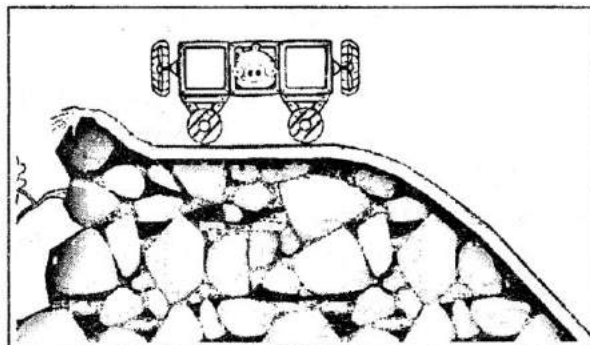


Розрахунок розміру свинки теж проводився за допомогою Tracker Video analysis, але був дещо простішим, бо рівняння записували лише для однієї осі OY . Використовували інший ролик (<http://youtu.be/fxRoWUHDGx4>), де свинка підлігала у повітря від вибуху ящика з тринітротолуолом (TNT).

Отриманий розмір у 96 см помітно відрізняється від розміру, який впливає з першої гри епопеї *ANGRY BIRDS*, де він становить 116 см.



Напрошується важливий висновок, що в *Bad Piggies* свинки є ще підліткового віку, які ще виростуть у справжніх злих геніїв, що дадуть гідну відсіч птахам-камікадзе.





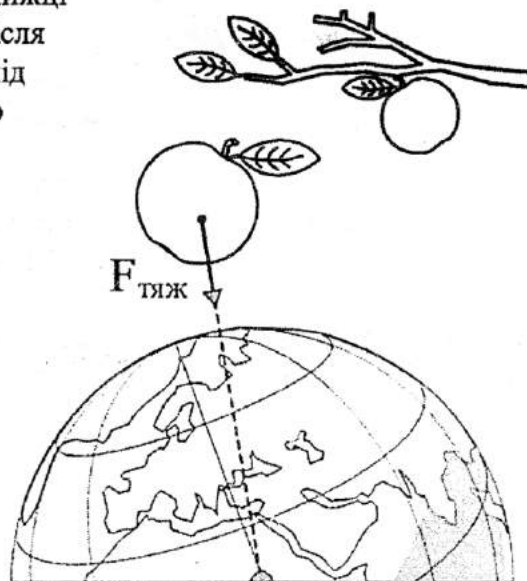
ЛЕГЕНДИ

ПРО ЯБЛУКО

Англійський історик, біограф Ісаака Ньютона, Вільям Стьюклі, якимсь відвідавши ученого, у своїй книжці “Спогади про життя Ньютона” (1752) написав: “Після обіду було спекотно, ми перейшли в сад і пили чай під тінню декількох яблунь. Сер Ньютон сказав мені, що точно в такій же обстановці він був, коли вперше йому прийшла в голову думка про тяжіння. Вона була викликана падінням яблука, коли він сидів, замислившись.

Чому яблуко завжди падає вертикально, подумав він, чому не в бік, а завжди до центра Землі?

Має існувати притягальна сила матерії, що зосереджена в центрі Землі. Якщо матерія тягне так другу матерію, то має існувати пропорційність її кількості. Тому яблуко притягує Землю так, як і Земля яблуко. Має, відтак, існувати сила, подібна до тієї, яку ми називаємо тяжінням.”



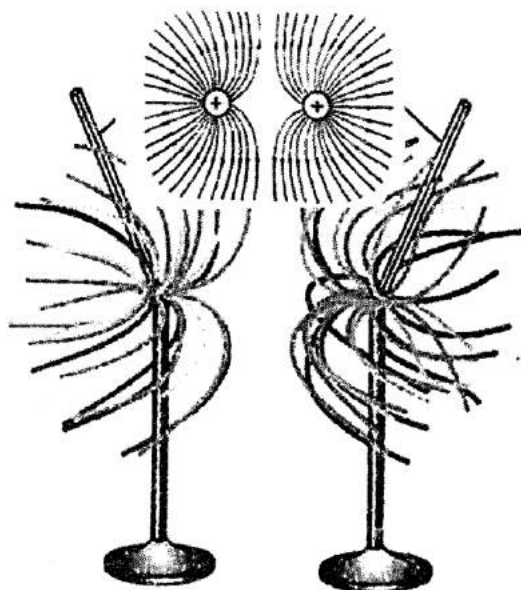
Нині родинний сад Ньютона став національним заповідником у Великій Британії.

ПРО ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА

Існує легенда, що електричні явища відкрив невідомий філософ Фалес Мілетський (642–548 до Р. Х.), а його донька.

Протираючи якимось шерстяною шматкою веретено, що було оздоблено бурштином, вона завважила, що, натерши сильніше бурштин, ворсинки утримуються на ньому, а тоді, за деякий час, без видимої причини відпадають.

Донька звернулася до батька, Фалеса Мілетського, з проханням пояснити дивну поведінку ворсинок. Зацікавившись цим явищем, батько сам проробив досліди з бурштином і переконався в існуванні фактів, про які повідомила його донька.



Лише за два сторіччя, 1600 року, була опублікована праця Вільяма Гільберта (1544–1603), де було зазначено, що під час натирання наелектризується не лише бурштин, а й інші речовини.

ЕВРИКА!

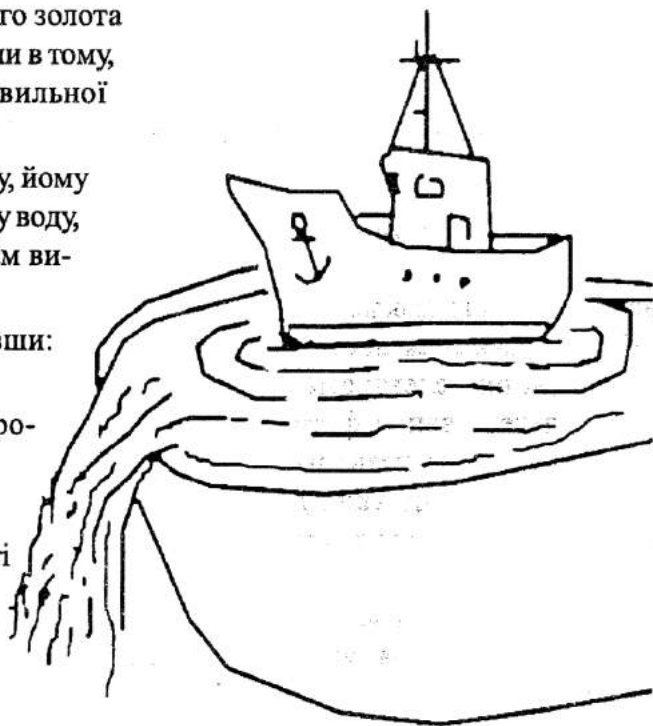
За відомою легендою Архімед зумів визначити, чи зроблена корона царя сіракузького Герона з чистого золота чи ювелір підмішав туди срібла. Труднощі були в тому, як точно визначити об'єм корони неправильної форми.

Одного разу, коли Архімед приймав ванну, йому прийшла до голови ідея: занурюючи корону у воду, можна визначити її об'єм, вимірявши, об'єм витісненої нею води.

Архімед вискочив на вулицю, вигукнувши: “Еврика!” – “Знайшов!”

Так було відкрито основний закон гідростатики.

Цей закон Архімед уперше згадав у трактаті “Про тіла, які плавають”.





М. О. Романюк, А. С. Крочук, І. П. Пашук. *Оптика. Підручник* /за ред. М. Романюка. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 564 с.

М. О. Романюк, А. С. Крочук,
І. П. Пашук

ОПТИКА

Відповідно до програми розділу курсу загальної фізики “Оптика” для фізичних спеціальностей університетів розглянено закономірності поширення світла та його взаємодії з речовиною. Курс містить три групи питань: 1. Інтерференція, дифракція, голографія, геометрична оптика та оптика рухомих середовищ; 2. Відбивання, поляризація, дисперсія, поглинання світла, параметричні оптичні ефекти та нелінійна оптика; 3. Теплове випромінювання, фотоефект, розсіяння світла, люмінесценція та лазери. Описано низку оригінальних питань, пов’язаних головню з кристалооптикою та люмінесценцією.

Акцентовано увагу на поясненні оптичних явищ на підстав квантових уявлень та їхнього застосування у дослідницькій роботі, техніці та метрології.

Для студентів фізичних спеціальностей університетів, може бути корисною для аспірантів та викладачів.

О. О. Чумак. *Квантова оптика.* – Львів: Євросвіт, 2012. – 272 с.

В основу посібника покладено курс лекцій, що читався студентам Києво-Могилянської академії. Крім традиційних для цієї галузі фізики тем (квантування електромагнітного поля, природа квантових кореляцій, детектування фотонів тощо), значну увагу приділено сучасним проблемам квантової оптики. Виклад супроводжується задачами, розв’язання яких допоможе оволодіти математичним апаратом квантової оптики, краще зрозуміти та доповнити основний текст.

Посібник може бути корисним студентам і аспірантам фізичних спеціальностей, а також усім, хто має базові знання з квантової механіки.

Олександр ЧУМАК

КВАНТОВА ОПТИКА



РЕЗОНАНСИ

Асоціації та афоризми

з колекції
проф. Ярослава Довгого



1. Дві культури

Англійський фізик і романіст Чарльз Персі Сноу у книжці «Дві культури» доводить, що люди точних наук і технократи – це одна культура, а люди мистецтва і гуманітарії – зовсім інша.

2. Якість і кількість

Карл Фрідріх Гаусс, будучи дуже самокритичним, публікував мало праць. Мимо того, він був визнаним «королем математики».

3. Красиве згрупування атомів

Зустрілися два професори – фізик та хімік. Розмовляють.

Повз них проходять, чемно вітаючись, дві студентки-красуні. Учені із замилюванням спостерігають за красунями.

– Як цікаво згрупувалися атоми! – вимовив один з них.

4. Телекомунікації

Коли здібний фізик популярно пояснив, як передають телеграми з Європи до Америки по трансатлантичному кабелю, одна дама, подякувавши, сказала:

– З вашої чудової розповіді я все зрозуміла. Але чому все-таки телеграми приходять сухими?

5. Як виявити плагіат?

Є тривіальний спосіб виявлення плагіату – за характерними помилками оригіналу, які плагіатор повторив.

6. Ефект Доплера

Фізик проїхав на червоне світло.
– Платіть штраф, – каже полісмен.

– А ви чули щось про ефект Доплера?

– Ні, не чув.

– Розумієте, я їхав дуже швидко, а за ефектом Доплера на такій швидкості червоне світло видалося мені зеленим.
– Тоді платіть за перевищення швидкості.

7. Рецензія

Рецензуючи будь-яку наукову працю, оцінюють науковий здобуток, себто те, що отримано. Не вважається недоліком відсутність того, чого немає. Коли ж йде мова про підручник, то відсутність чогось суттєвого є недоліком...

8. ЕПР

– Що таке ЕПР?

– Явище електронного парамагнетного резонансу, – сказав фізик-експериментатор.

– Парадокс Ейнштейна–Подольського–Розена, – сказав фізик-теоретик.

9. Пригода з Ньютоном

Коли великий Ньютон був сильно заглиблений у наукові роздуми, він тоді ставав неймовірно розсіяним. Одного разу він задумав зварити яйце. Взявши годинник, він зафіксував час і за 2–3 хвилини жажнувся, що в руках тримав яйце, а вариться годинник.

10. Авторитет вчителя

До вчителів потрібно ставитися як до професіоналів, а не як до робітників промислового конвеєра

Стівен Джобс



ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!

Не забудьте передплатити науково-популярний журнал «Світ фізики», попередні числа видання можна замовити в редакції журналу за адресою:

вул. Сакаганського, 1, м. Львів, 79005, а/с 6700;

Phworld@franko.lviv.ua



Микола Бурачек (1871–1942)
Рече та стогне
Дніпр широкий. 1941.

Микола Бурачек – видатний український живописець, письменник, мистецтвознавець.

Народився 16 березня 1871 р. у с. Летичів (нині Хмельницька область) у родині поштового службовця. Освіту отримав у Кам'янець-Подільській гімназії, Київському університеті, з якого його виключили як учасника студентських заворушень. Маючи неабиякі акторські здібності, 17 років працював у пересувних театральних трупах, водночас не полишаючи занять живописом. Навчався малювання у Київській рисувальній школі М. Мурашка. Згодом (1905), покинувши сцену, вступив до Краківської академії красних мистецтв, де його педагогом був польський пейзажист Я. Станіславський. Закінчивши академію, навчався у Парижі в майстерні А. Матісса та академії Рансона.

Повернувшись на батьківщину, митець присвятив себе створенню образів української природи. У його ранніх творах спостерігаємо вплив імпресіонізму: "Березень" (1917), "На горді. Соняшник" (1918), "Морозний ранок" (1919). Від середини 1930-х рр. М. Бурачек працював над картинами: "Яблуні в цвіту" (1936), "Дорога до колгоспу" (1937), "Рече та стогне Дніпр широкий" (1941).

М. Бурачек викладав спочатку в Академії мистецтв у Києві, де був керівником пейзажного класу, а згодом – директором у Харківському художньому технікумі. А також керував майстернею театральньо-декоративного живопису і вів курс натюрморту.

Упродовж усього творчого життя М. Бурачек займався громадсько-освітньою діяльністю. Він був одним із засновників Української академії мистецтва, Асоціації митців України, головою Центрального бюро працівників мистецтв у Харкові. З його ім'ям пов'язане проектування та спорудження пам'ятників Т. Шевченку в Харкові, Києві, Каневі, створення музеїв Т. Шевченка та М. Коцюбинського. Микола Бурачек першим відібрав і розташував у хронологічній послідовності художні твори Великого Кобзаря.