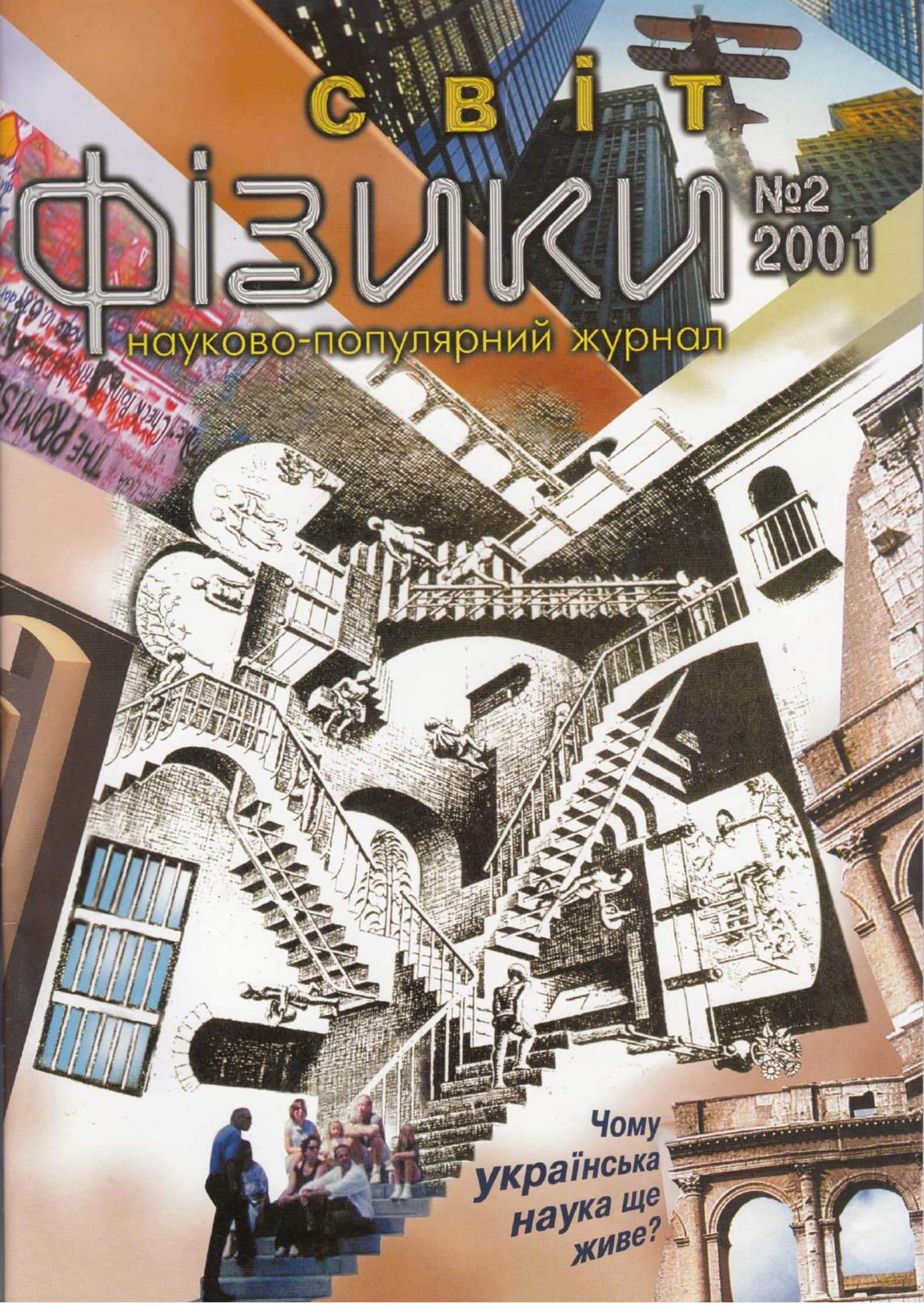


С В І Т

ФІЗИКА

№2
2001

науково-популярний журнал



Чому
українська
наука ще
живе?

ВИПУСКНИКАМ 2001

Вищі навчальні заклади України підготували 2001 року майже триста тисяч спеціалістів, серед яких є чимало фізиків.

Віримо, що більшість з них поповнять наукові, освітянські та виробничі колективи; їхні знання, здібності знайдуть застосування і примножать славу країни.

Сподіваємось, що з них виростуть видатні державні діячі, відомі вчені, і навіть Нобелівські лавреати.

Нехай доля їх буде щасливою у вільній незалежній Україні!



Учена Рада фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка визнала найкращою дипломну роботу Тараса Фітя і присудила йому премію імені Володимира Шпетка. Цю нагороду заснував відомий канадський фізик Юрій Даревич – іноземний член НАН України.

На світлині: Виступає Тарас Фітьо.



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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

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

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005

Україна

тел./факс 380 322 40 31 88, 40 31 89

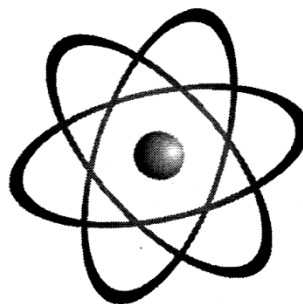
sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

*„...виникнення наукової
школи – виховання й
самовиховання здібної молодогої
людини в старій, уже відомій,
науковій школі. Тут, за
бажанням, він може багато
чому навчитися й не тільки
опанувати конкретні мето-
дики, засвоїти наукові ідеї, а й
ввібрати дух науки, що витає,
дух творчості, основи наукової
етики, корисні традиції.
У такому середовищі наукова й
загальна культура молодого
вченого може швидко
розвинутися, якщо він не буде
млявий, а постарается
ввібрати все позитивне...”*

*З книги Д. Зербіно
„Наукова школа: лідер і учні”*

*Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”*



Передплатний індекс

22577

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ



1. Нові і маловідомі явища фізики

Вакарчук Іван. Теорія відносності та її творці
Клепнер Даніель, Яцків Роман. Сто років квантової фізики

2. Фізика України

Довгий Ярослав. Політипні мартенситні структури, які відкрив проф. Богдан Николин

3. Актуальні проблеми...

Чому українська наука ще живе?

4. Нобелівські лавреати

Гальчинський Олександр. Відкриття у фізиці лептонів

5. Олімпіади, турніри ...

Теоретичні завдання IV етапу
Всеукраїнської олімпіади з фізики, 2001 р.

6. Творчість юних

Кравчук Петро. Знову полум'я свічки

7. Олімпіади, турніри ...

Розв'язки задач III (обласного) етапу
Всеукраїнської олімпіади з фізики, 2001 р.
Розв'язки задач IV етапу
Всеукраїнської олімпіади з фізики, 2001 р.

8. Інформація

9. Гумор



Теорія відносності та її творці*

Іван Вакарчук,

професор Львівського національного університету
імені Івана Франка

*Благодарение блаженному Богу
о том, что нужное здѣлал не трудным,
а трудное ненужным.*

Григорій Сковорода. 1766 р.

I

XIX сторіччя було свідком подальшої тріумфальної ходи ньютонівської механіки. Але вже нагромаджувались нові експериментальні факти в галузі електрики та магнетизму завдяки працям французького фізика і військового інженера Шарля Огюстена Кулона (1736–1806), данського фізика Ганса Крістіяна Ерстеда (1777–1851), французького фізика Андре Ампера (1775–1836), англійського фізика Майкла Фарадея (1791–1867). Сукупність усіх цих дослідних даних упродовж 1860–1865 років об'єднав в одну струнку теорію електромагнетних явищ видатний англійський фізик Джеймс Клерк Максвел (1831–1879) у вигляді декількох рівнянь, що описують фундаментальні закони електрики й магнетизму. Максвел є одним із великих фізиків-теоретиків, відкриття якого зробили в постньютонівську епоху поруч із відкриттям Максом Планком (1958–1947) квантової фізики 1900 року найбільший вплив на поступ цивілізації.

Максвелові рівняння відіграли виняткову роль у розвитку фундаментальної фізичної науки, її прикладних розгалужень та техніки, вони спричинили зміну нашого світосприйняття.

Сьогодні достатньо одного уважного погляду на нашу дійсність, щоб зрозуміти, наскільки глибоко вплинула його теорія електромагнетизму на всю нашу історію, матеріальну й духовну культуру (електричні генератори, електродвигуни, електростанції, електро- та радіозв'язок, радіо й телебачення, тролейбуси, комп'ютери, факси, інтернет, космічний зв'язок...).

*Із курсу лекцій з філософії науки за магістерською програмою у Львівському національному університеті імені Івана Франка. Це частина лекції, яка була виголошена 6 червня 2000 року на Львівсько-Варшавському семінарі „Філософія науки”, що відбувався з 5 до 11 червня 2000 року у Львівському університеті.

Дж. Максвел творив електродинаміку тоді, коли на північно-американському континенті йшла громадянська війна. За словами видатного американського фізика-теоретика Річарда Фейнмана (1918–1988), за деякий час ця війна в історії людства матиме на тлі важливого максвелового відкриття законів електродинаміки значення дрібної провінційної події.

II

Численні експериментальні підтвердження електродинаміки, винахід нових явищ, вражаючі успіхи у промисловості контрастували з тими фундаментальними суперечностями, на які вона наштовхнулася. А саме, виявилось, що рівняння Максвелла не інваріантні щодо так званих перетворень Галілея. Обговоримо це детальніше.

Розглянемо дві інерціальні системи відліку, які позначимо через K та K' з координатними осями x, y, z та x', y', z' . Час у цих системах позначимо через t і t' . Система відліку K' рухається щодо системи відліку K рівномірно і прямолінійно зі сталою швидкістю v , нехай уздовж осі x , а напрямки решти координатних осей збігаються.

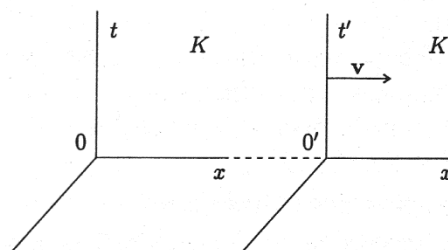
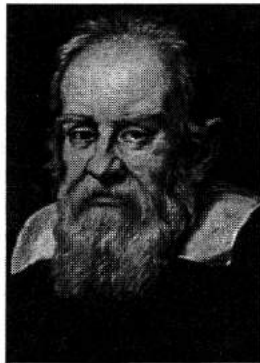


Рис. 1. Інерціальні системи відліку

Запишемо перетворення Галілея, що зв'язують штриховані й нештриховані величини:

$$\begin{cases} x = x' + vt', \\ y = y', \\ z = z', \\ t = t' \end{cases}$$



Галілео Галілей
(1564–1642)

Принцип Галілея твердить, що закони механіки в усіх інерціальних системах відліку є однаковими. Тобто, рівняння механіки, записані у штрихованих і нештригованих змінних, мають однаковий вигляд.

Щодо законів електрики й магнетизму, то, на відміну від законів механіки Ньютона, вони змінюють „свій вигляд” при переході від однієї інерціальної системи до іншої. Це суперечило принципіві відносності Галілея та й здоровому глуздові. Справді, це означає, що коли проводити досліди у вагоні, який рівномірно й прямолінійно рухається, то результати будуть одними, а якщо вагон нерухомий, то вони інакші! Але були знайдені інші перетворення, при яких рівняння Максвелла залишаються незмінними. Першим їх увів 1887 року німецький фізик-теоретик Вольдемар Фойгт (1850–1919).

Пізніше, 1904 року, їх знайшов нідерландський фізик-теоретик Гендрік Антон Лоренц (1853–1928). Ці перетворення координат і часу називають перетвореннями Лоренца. Термін „перетворення Лоренца” ввів видатний французький математик, фізик, астроном і філософ Анрі Пуанкаре (1854–1912).

Отже, рівняння Максвелла у K' виглядатимуть так само, як і в K , якщо координати й час пов'язані перетвореннями Лоренца:

$$\begin{cases} t = \frac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \\ x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \\ y = y', \\ z = z' \end{cases}$$

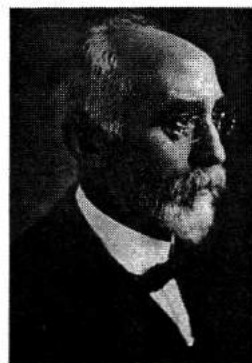
c – швидкість світла у вакуумі ($c = 299792458$ м/с)¹ Перетворення Лоренца мали фундаментальне значення для створення теорії відносності й усього подальшого розвитку фізики. Важливим при знаходженні перетворень Лоренца є постулат, що швидкість світла і в K , і в K' -однакова. Тобто в усіх системах відліку вона є сталою величиною, $c = \text{const}$. Це один із законів природи.

Із цих виразів зауважуємо надзвичайно важливий і цікавий факт. Якщо швидкість v є малою порівняно зі швидкістю світла c , тобто коли $v/c \ll 1$ (можна формально розглядати $c \rightarrow \infty$), перетворення Лоренца вироджуються в перетворення Галілея.

Отже, при малих швидкостях принцип відносності Галілея справджується й для електродинамічних явищ.

Тепер виникає запитання. Якщо рівняння електродинаміки Максвелла правильні й безпомилково описують дійсність, то як бути з рівняннями Ньютона? Адже рівняння Ньютона не є інваріантними щодо перетворень Лоренца. Ці перетворення їх „калічать”.

Відповідь на це запитання незалежно дали Анрі Пуанкаре в 1904–1905 роках й Альберт Айнштайн (1879–1955) 1905 року. А. Айнштайн і А. Пуанкаре вирішили так „підправити” рівняння Ньютона, щоб вони стали лоренц-інваріантними. Тобто вони повірили в те, що рівняння електро-



Гендрік Лоренц
(1853–1928)

¹Швидкість світла в середовищі є меншою, ніж у вакуумі. Зокрема, в останніх досліджах (1998) з вимірювань швидкості світла в ультраохолодженій газовій системі атомів натрію вона досягає замість $\sim 300\,000$ км/год звичайних земних значень – усього ~ 60 км/год! Тобто світло можна обігнати звичайним автомобілем. Щобільше, світло можна „зупинити”, звести групову швидкість світлового імпульсу до нуля (експерименти 2000-го року на атомах рубідію).



Жуль Анрі Пуанкаре
(1854–1912)

динаміки Максвелла є точними, а рівняння Ньютона лише наближені. Саме А. Пуанкаре висунув принцип відносності як усезагальне і строге положення.

Принцип відносності твердить: усі закони природи однакові в усіх інерціальних системах відліку. Принцип відносності, об'єднаний з постулатом, що швидкість поширення взаємодії є скінченною й однаковою в усіх системах відліку, називають принципом відносності Айнштейна. Механіку, яка ґрунтується на цьому принципі, називають релятивістською.

III

Обговорімо декілька фізичних явищ, які є наслідком принципу відносності. З аналізу перетворень Лоренца можна дійти важливих і цікавих висновків щодо зміни розмірів рухомих тіл та знайти зміни ходу годинника в рухомій системі відліку.

Справді, нехай у системі K маємо стрижень довжиною $l_0 = x_2 - x_1$, де x_2 та x_1 – координати обох кінців стрижня. Знайдімо тепер довжину цього стрижня в рухомій системі K' , тобто знайдімо в ній координати його кінців x'_2 та x'_1 і знайдімо $l = x'_2 - x'_1$. У той самий момент часу маємо:

$$x_2 = \frac{x'_2 + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad x_1 = \frac{x'_1 + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

а їхня різниця дає

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Отже, найбільшу довжину стрижень має в тій системі відліку, де він є нерухомим, коли $v = 0$ і $l = l_0$. Величину l_0 називають власною довжиною. Довжина стрижня l у системі, де він рухається, скорочується, $l < l_0$. Це скорочення називають лоренцовим скороченням. Отже, розміри тіла не є чи-

мось абсолютним, вони змінюються залежно від того, звідки ми дивимось. Відповідно до того, як швидкість тіла v наближається до швидкості світла c , розміри, паралельні напрямковій руху, і об'єм тіла прямують до нуля.

Обговорімо тепер хід годинника в різних системах відліку. Отже, нехай у системі K' маємо нерухомий годинник. Розглянемо дві події, що відбулись в одному й тому ж місці x', y', z' простору в системі K' . Час у системі K' між цими двома подіями $\Delta t' = t'_2 - t'_1$. Знайдімо тепер час Δt , що пройшов між цими двома подіями в системі K . З перетворень Лоренца часи першої та другої подій є такими:

$$t_1 = \frac{t'_1 + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad t_2 = \frac{t'_2 + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Різниця між ними $\Delta t = t_2 - t_1$ дорівнює

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Час, що відраховується за годинником, який рухається з тілом, називають власним часом. Отже, ми отримали, що власний час рухомого тіла

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

є завжди меншим, ніж час у нерухомій системі відліку. Тобто рухомий годинник іде повільніше за нерухомий.

Зупинимось тепер на такому парадоксі. Нехай стосовно до інерціальної системи K рухається годинник, зв'язаний із системою K' . З погляду спостерігача у системі K , годинник у K' спізнюється порівняно з його годинником. Однак, з погляду спостерігача в K' , система K рухається щодо нього, і отже, для нього спізнюється годинник у K . Цей парадокс розв'язуємо такими міркуваннями. Рухомий годинник завжди порівнюють з різними годинниками нерухомої системи відліку, адже порівнювати годинники можна, якщо вони містяться в одній точці простору. Отже, при цьому немає симетрії щодо K та K' . Завжди спізнюється той годинник, покази якого порівнюють з різними годинниками.

Другий парадокс (парадокс близнюків). Якщо один з двох годинників описує замкнену траєкторію й повертає у вихідну точку до нерухомого годинника, то виявимо, що рухомий годинник



спізнюється. Близнюк, що рухається, є молодшим за свого нерухомого брата. Це спізнення є тим більшим, що більша швидкість, і при наближенні швидкості v до швидкості світла c хід годинника сповільнюється до нуля². Однак ми можемо „сісти” на рухомий годинник, і він для нас стане нерухомим. Отже, тепер інший з братів-близнюків стає молодшим. У чому річ? Тонкість цього парадокса замаскована тим, що той годинник, який рухається за замкненою траєкторією, не рухається прямо-лінійно й рівномірно. Навіть, якщо рухається прямо-лінійно, то для повернення у вихідну точку він мусить загальмувати рух, зупинитись і набрати швидкості у зворотньому напрямку. Таким чином, рух цього годинника є нерівномірним, а отже, і система відліку, пов’язана з ним, неінерціальна. А ми розглядали лише інерціальні системи відліку, в яких справджується принцип відносності. Інерціальні та неінерціальні системи відліку мають різні властивості.

IV

Надзвичайно плідним для аналізу наведених вище явищ є використання уявлення про спеціальний чотиривимірний простір, у якому до трьох просторових координат x, y, z додамо, як четвертий вимір, час t . Пуанкаре вперше розглядає перетворення Лоренца як елементи перетворення 4-вимірного простору. Ці думки про єдність простору й часу в 1908–1909 рр. розширив німецький фізик і математик Герман Мінковський (1864–1909), увівши поняття 4-вимірного світу³, елементами якого є події: „Погляди на простір і час, які я маю намір розвинути перед вами, виникли на

²„... – Вся штука полягає в тому, – додав він, готовий продемонструвати її механізм на вже налаштованих для цього пальцях, – що ми відсунули час. Ми тут запізнюємося з часом на певний інтервал, довжину якого неспромога окреслити. Все зводиться до простого релятивізму. Тут батькова смерть ще просто не дійшла до skutku – та смерть, яка вже досягла його у вашій батьківщині.”

Бруно Шульц. Санаторій під Клепсидрою (Переклад Андрія Шкраб’юка). Львів: Просвіта, 1995.

³Уперше уявлення про багатовимірний простір увів французький математик Ж. Л. Лагранж (1736–1813). На ту пору ця ідея не знайшла розвитку, хоча тепер вона здається природною. Упродовж сотні років одні філософи стверджували, що багатовимірний простір – це безглуздя. Інші – вимагали експериментально довести існування багатовимірності простору. На це, зрозуміло, знайшлись спритні містифікатори – шарлатани, які, наприклад, звільняли „замкнений” шнурок від вузлів через четвертий вимір, або спиритуалісти, що викликали духів через інші виміри.



Герман Мінковський
(1864–1909)

експериментально-фізичній основі. У цьому їх сила. Їхня тенденція радикальна. Відтепер простір сам собою і час сам собою мусять перетворитись у фікції, і лише деякий вид поєднання обох повинен ще зберегти самостійність”.

Таким чином, теорія відносності „вдерлась” у ньютонівську святиню абсолютного простору та абсолютного часу: виявилось, що і ці поняття не є абсолютними⁴.

Елементарна вправа на піднесення до квадрата показує, що величина,

$$ds^2 = c^2(dt)^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2,$$

яка має назву квадрата інтервалу ds , є інваріантною щодо перетворень Лоренца. Математично квадрат інтервалу ds^2 має таку ж „геометричну” структуру, як і рівняння Максвелла для напруженостей вільного електромагнетного поля. Саме тому, що рівняння Максвелла є інваріантними щодо перетворень Лоренца, то і

$$ds^2 = \text{invariance.}$$

З геометричного погляду, формула для квадрата інтервалу (якщо б усі знаки були „плюс”) є звичайною теоремою Піфагора⁵ в 4-вимірному просторі.

⁴„Я починаю шкодувати, що у все це вліз. Важко назвати вдалою ідеєю те, що ми, приваблені гучною рекламою, прислали батька сюди. Відсунутий час... Нічого не скажеш, звучить непогано – але чим воно виявляється насправді? Чи можна дістати тут повноцінний, сумлінний час, такий час, що мов би шойно вийнятий із свіжої доставки і ще пахне новизною і фарбою? Якраз навпаки. Тут – до гвинтика зужитий, зношений людьми час, протертий і дзюравий у багатьох місцях час, прозорий, як сито.”

Бруно Шульц. Санаторій під Клепсидрою (Переклад Андрія Шкраб’юка). Львів: Просвіта, 1995.

⁵Піфагор із Самосу (бл. 569 до н. е. – бл. 475 до н. е.) – давньогрецький математик, філософ.



Нагадаймо відомості зі шкільних підручників: в геометрії Евкліда⁶ у просторі з двома вимірами квадрат гіпотенузи прямокутного трикутника дорівнює сумі квадратів його катетів.

Отже, ds^2 – це „квадрат гіпотенузи” в 4-вимірному просторі Мінковського. Тому що не всі знаки однакові (маємо один знак „+” і три знаки „-”), такий простір називають „нібито евклідовим”, або псевдоевклідовим.

Перетворення Лоренца є поворотами в 4-вимірному просторі–часі. При цих поворотах квадрат інтервалу ds^2 залишається незмінним, так само, як при поворотах не змінюються й елементи довжини dl у звичайному тривимірному просторі, адже з якої б точки ми не дивились на лінійку чи стрижень, як би ми не нахилили голови, їхня довжина не залежить від цього – вона залишається незмінною. Саме цей очевидний у побуті факт і покладений в основу **спеціальної теорії відносності**, яку ми досі розглядали.

V

Перейдімо тепер до розгляду **загальної теорії відносності**. По суті, вона є теорією тяжіння, або теорією гравітації. Іншими словами, теорію гравітаційного поля, побудовану на основі теорії відносності, і називають загальною теорією відносності. Вона була створена на основі таких трьох наук, як *неевклідова геометрія*, *ньютонівська теорія тяжіння та принцип відносності*.

Для побудови цієї нової неевклідової геометрії потрібно було дві тисячі років, упродовж яких математики безрезультатно шукали доведення не такого вже й очевидного п'ятого постулату Евкліда з попередніх, тобто шукали суперечності в його геометрії. Однак Евклід мав рацію – його геометрія несуперечлива.

⁶Евклід (III ст. до н. е.) – давньогрецький учений, автор трактату з математики „Елементи”, творець геометричної системи – евклідової геометрії. Це він сказав цареві Птолемеєві, що до геометрії немає царського шляху.

Евклідова (грецька) геометрія – це геометрія, яку вивчають у середній школі, або шкільна геометрія. Вона ґрунтується на п'ятьох постулатах Евкліда, які є майже очевидними твердженнями: через дві точки можна провести одну пряму; кожна пряма може бути як завгодно продовжена; даним радіусом з даної точки можна провести коло; усі прямі кути рівні; якщо дві прямі проведені до третьої під кутами, які менші від суми двох прямих кутів, то вони зустрінуться з цього ж боку від цієї прямої.

Евклід з Александрії
(бл. 325 до н. е. –
бл. 265 до н. е.)



Першим, хто припустив існування неевклідової геометрії, для якої виконуються всі постулати, крім п'ятого, був великий німецький математик Йоган Карл Фрідріх Гаус (1777–1855). Гаус, як відомо, не дуже любив публікувати свої праці, і першим, хто надрукував 1829 року свою працю з неевклідової геометрії, був російський математик Микола Іванович Лобачевський (1792–1856). 1832 року опублікував свої дослідження з неевклідової геометрії Янош Больяї (1802–1860). Він був офіцером австрійської армії, у 1831–1832 роках жив у Львові, де і завершив працю „Наука про простір”⁷ Цікаво також знати, що батько Яноша Больяї був знайомий з Гаусом з молодих років і вони листувались між собою.



Йоган Гаус
(1777–1855)

Запитання, чому для створення неевклідової геометрії потрібно було дві тисячі років, має просту відповідь: двовимірний простір Гауса–Лобачевського–Больяї неможливо уявити як поверхню в тривимірному просторі. Справді, геометрію можна арифметизувати. Тобто як модель геометрії можна взяти теорію дійсних чисел. Для цього потрібно, по-перше, задати точку в такій геометрії (наприклад, на поверхні – це пара чисел), а по-друге, задати віддаль між точками, тобто задати

⁷На будинку головного корпусу Львівського національного університету імені Івана Франка встановлена меморіальна таблиця Яношеві Больяї.



Микола Лобачевський
(1792–1856)



Янош Больяї
(1802–1860)

метрику. Тоді всі постулати є наслідком теорем для дійсних чисел. Зрозуміло, що не всі способи задання точок і віддалей між ними можна звести до поверхні, яку можна картинно уявити вкладеною у простір більшої розмірності.

Значно важче пояснити інше загадкове і незбагненне явище: як так сталося, що по двох тисячах років у дуже короткий період часу, фактично одночасно троє вчених у різних країнах незалежно приходять до тієї самої ідеї і створюють принципово нову геометрію.



Георг Фрідріх
Бернгард Ріман
(1826–1866)

Поговоримо про неевклідову геометрію. Продовжмо тепер наш розгляд знову з аналізу інтервалу ds . Квадрат інтервалу можна записати так:

$$ds^2 = g_{00}(dx^0)^2 + g_{11}(dx^1)^2 + g_{22}(dx^2)^2 + g_{33}(dx^3)^2,$$

де $x^0 = ct, x^1 = x, x^2 = y, x^3 = z,$

а

$$g_{00} = 1, g_{11} = -1, g_{22} = -1, g_{33} = -1.$$

Такий запис ds^2 є, зрозуміло, лише переписуванням попереднього виразу. Однак він допускає подальше узагальнення теореми Піфагора, яке

здійснив ще до створення теорії відносності у середині XIX сторіччя видатний німецький математик Георг Фрідріх Бернгард Ріман⁸ (1826–1866):

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k,$$

тут відбувається підсумовування за індексами i та k , що трапляються двічі (зверху й знизу); взагалі кажучи відмінними від нуля можуть бути вже і недіагональні елементи g_{ik} , коли $i \neq k$.

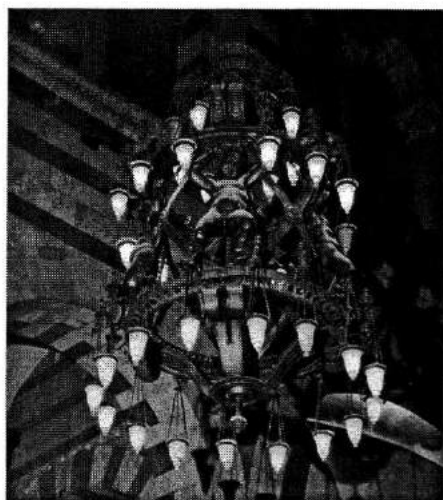
Отже, як вимірювати довжину елемента простору залежить від сукупності величин g_{ik} . Її називають метричним тензором: метричним – саме тому, що вона визначає метрику простору, тобто спосіб вимірювання довжин та кутів; а тензором – тому, що такі величини з індексами, які при перетвореннях координат поводять себе як добуток складових векторів, мають назву тензора. Так узагальнений запис елемента довжини дає змогу перейти до вивчення просторів з принципово іншими властивостями, ніж простір, який описує геометрія Евкліда.

VI

Тепер обговоримо зв'язок між гравітаційним полем і неінерціальними системами відліку та виглядом величин g_{ik} . Ще Галілей помітив, що всі тіла, незалежно від їхньої маси, при вільному падінні набувають однакової швидкості. Це й означає, що інертна маса тіла дорівнює (при спеціальному виборі системи одиниць) її гравітаційній масі. Інертна маса тіла – це величина, що входить до другого закону Ньютона; гравітаційна або важка маса – це та величина, через яку формулюємо закон всесвітнього тяжіння. Зрозуміло, що це різні величини – вони мають різну природу. Однак існує якась дивовижна незбагненна симетрія Всесвіту, внаслідок якої ці дві маси рівні між собою. Цю рівність, починаючи з Галілея, неодноразово експериментально перевіряли Гюйгенс, Ньютон, Бессель, Етвеш, а також і в наші часи. Тепер встановлено, що „інертна маса” дорівнює „гравітаційній масі” з відносною похибкою меншою, ніж 10^{-12} .

Кажуть, що Галілей закріпив закон ізохронізму маятника в катедрі, спостерігаючи коливан-

⁸За висловом Фелікса Кляйна, Георг Ріман був типовим генієм: тихий та дивакуватий ззовні, повний сил і виняткового розмаху у сфері внутрішній.



Світильник Галілея. Кажуть, що під час спостереження в Пізанському катедральному соборі за коливними рухами цього бронзового світильника Галілеєві сяйнула думка про те, що період коливань не повинен залежати від маси світильника (ізохронізм). Так уперше в науковий обіг була введена ідея про рівність інертної та гравітаційної мас тіла

ня бронзового світильника, що знаходився в її центральній галереї. А для того щоб підтвердити свої спостереження кількісно, кількома роками пізніше проводив експерименти, кидаючи з Пізанської вежі тіла різної маси, і знайшов, що прискорення вільного падіння однакове для всіх тіл, незалежно від їхньої маси.

Із рівності інертної і гравітаційної маси випливає основна властивість гравітаційного поля: всі тіла, незалежно від їхньої маси, рухаються в гравітаційному полі за заданих початкових умов однаково. Ця властивість насамперед дає змогу встановити суттєву аналогію між рухом тіл у гравітаційному полі і рухом тіл за відсутності поля з точки зору неінерціальної системи координат.

Справді, розгляньмо деяку інерціальну систему відліку K . Маса, достатньо віддалені одна від одної, у цій системі координат рухаються рівномірно і прямолінійно. Розгляньмо рух цих мас щодо системи координат K' , що рухається рівномірно прискорено стосовно до системи K . Щодо K' усі тіла мають однакове прискорення за величиною й напрямком. Ці тіла поводять себе стосовно до K' так, ніби існує постійне гравітаційне поле, а система K' є неприскореною, інерціальною. Добре знайома нам ситуація з побуту під час перебування в рухомому ліфті, як це зображено на рис. 2.

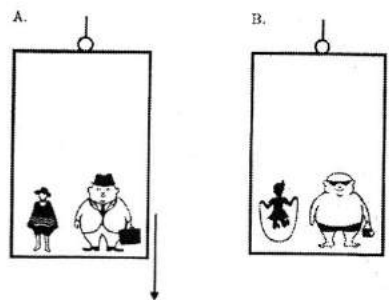
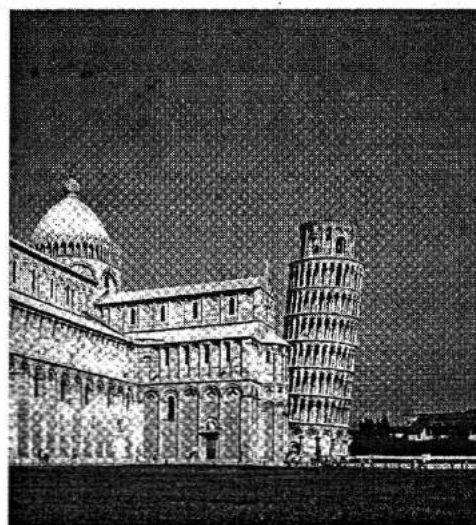


Рис. 2. Гравітаційне поле та неінерціальні системи відліку. А. Вільнопадаючий ліфт, у якому гравітаційне поле „вимкнуте”; В. Ліфт, що рухається з прискоренням, яке сприймаємо як наявність гравітаційного поля

Щобільше, ніякими експериментами ми не зможемо встановити, чи наша система K' неприскорена й існує гравітаційне поле, чи гравітаційне поле відсутнє, а система K' є рівномірно прискореною. Щоб виключити можливість „підглядання”, розгляньмо закритий ящик, у якому знаходяться тіла. Отже, явища в нерухомому ящику в гравіта-



Пізанська вежа. Вона відіграла виняткову роль у створенні загальної теорії відносності як „експериментальна установка”, де було проведено перший експеримент, який засвідчив, що інертна маса дорівнює важкій. Галілей кидав з неї тіла різної маси й експериментально довів, що вони досягають поверхні землі за один і той самий час, з цього й випливає рівність інертної та гравітаційної мас. Ліворуч стоїть Пізанський катедральний собор, у якому, спостерігаючи за коливаннями світильника, Галілей „вгадав” закон ізохронізму маятника, а це спонукало його до проведення експериментів з цієї вежі



ційному полі неможливо відрізнити від явищ у ящику, що рухається з прискоренням за відсутності поля.

Отже, ми приходимо до повної фізичної еквівалентності гравітаційного поля й інерції тіл. Це так званий принцип еквівалентності Айнштейна гравітаційного поля неінерціальної системі відліку.

Принцип еквівалентності твердить: *неінерціальна система відліку еквівалентна гравітаційному полю.*

Це ми розглядали однорідне гравітаційне поле і встановили його еквівалентність системі відліку, що рухається рівномірно прискорено. Однак такої простої еквівалентності немає, якщо гравітаційне поле неоднорідне.

Коли, наприклад, розглянути рух у вільно падаючому на Землю ліфті, то згідно з принципом еквівалентності ми не зможемо встановити, чи ми знаходимось у полі тяжіння й вільно падаємо, чи перебуваємо в інерціальної системі відліку і ніякого поля немає. Проте невелика неоднорідність поля гравітації Землі таки проявляється: всі тіла рухаються до центру Землі, і тому в міру падіння ліфта разом з пробними тілами віддаль між останніми буде зменшуватись (див. рис. 3). Отже, немає аж так повної тотожності гравітації й інерції.

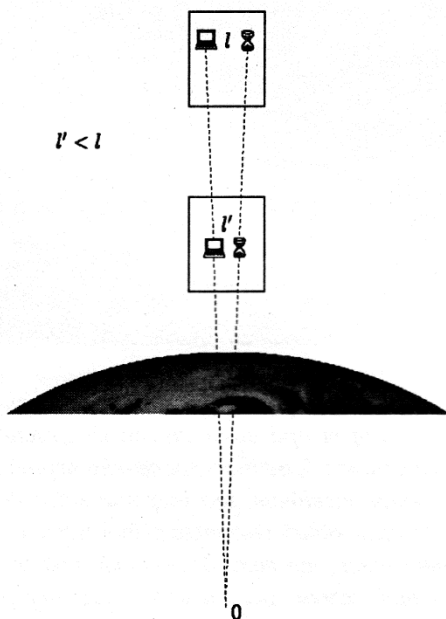


Рис. 3. Тіла в ліфті, що падає на Землю, наближаються одне до одного ($l' < l$) внаслідок того, що неоднорідність гравітаційного поля спричинює їхній рух до центру Землі

Другий приклад. Як відомо, справжні гравітаційні поля спадають з віддалю від гравітуючих мас до нуля. Поля, яким еквівалентні неінерціальної системі відліку, з віддаллю не спадають, як, наприклад, у рівномірно прискореній системі відліку. Щобільше, ці поля можуть необмежено збільшуватись, як у системі координат, що рівномірно обертається, як це зображено на рис. 4.

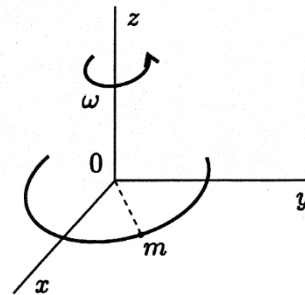
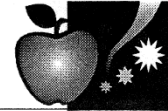


Рис. 4. Сили, що діють на масу m , необмежено зростають з віддаленням від осі обертання

Крім того, поля, яким еквівалентні неінерціальної системі відліку, зникають, якщо ми перейдемо до інерціальної системи координат. Як це було з нашими вище розглянутими системами K і K' (при переході від K' до K). Справжні неоднорідні гравітаційні поля не можна „виключити” ніякими перетвореннями систем координат.

Однак, якщо розглянути малі ділянки простору, настільки малі, що гравітаційне поле в них (в околі вибраної точки простору) можна було вважати однорідним, то таке „виключення” гравітаційного поля можливе. Таким чином, приходимо до **локального принципу еквівалентності:** *гравітаційне поле в певній точці простору еквівалентне деякій неінерціальної системі відліку.*

Цей принцип можна сформулювати і дещо в іншій формі, що буде нагадувати принцип відносності, сформульований у спеціальній теорії відносності. Оскільки в певній точці простору завжди можна вибрати локальну неінерціальну систему відліку – „вільно падаючу” (у такій системі гравітаційне поле відсутнє), то принцип еквівалентності можна сформулювати й так: *у кожній точці простору–часу в довільному гравітаційному полі можна вибрати локально-інерціальну систему координат, у якій закони природи мають таку ж форму, як і в неприскорених декартових системах відліку.*



Це сильний, або айнштайнівський, принцип еквівалентності. Іншими словами, ми можемо „вимкнути” гравітаційне поле в малій ділянці простору переходом у „вільно падаючу систему координат”, і в ній закони, наприклад, механіки, будуть мати таку ж форму, як і в спеціальній теорії відносності.

VII

Розгляньмо тепер перетворення інтервалу при переході до неінерціальної системи відліку. Нехай неінерціальна система відліку буде декартовою системою координат, що рівномірно обертається з кутовою швидкістю, як це зображено на рис. 4.

Аналіз показує, що в такій неінерціальній системі відліку квадрат інтервалу є квадратичною формою загального вигляду, яку свого часу ввів Ріман:

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k,$$

де метричний тензор g_{ik} є функцією координат

$$g_{ik} = g_{ik}(x^0, x^1, x^2, x^3),$$

причому виникають вже і недиагональні компоненти⁹.

Із принципу еквівалентності випливає, що ця неінерціальна система відліку еквівалентна гравітаційному полю, і отже, інтервал (точніше його квадрат) у гравітаційному полі також має відмінними від нуля недиагональні компоненти g_{ik} , причому величини g_{ik} залежать від x^0, x^1, x^2, x^3 . Це є наслідком локального принципу еквівалентності. Отже, ми доходимо висновку, що величини g_{ik} описують як метричні співвідношення в 4-вимірному просторі, так і гравітаційне поле. Іншими словами, метричний тензор залежить від розподілу мас. **Це твердження є головним евристичним моментом загальної теорії відносності.**

Отже, метричні властивості простору-часу залежать від наявності мас і змінюються від точки до точки згідно з тим, як розподілені маси в про-

сторі. Виявляється, геометрія простору не є „абсолютною”, як це вважав Ньютон, а залежить від наявності в ньому речовини й фізичних процесів, що відбуваються. Отже, серед фундаментальних сил природи (електромагнетних, гравітаційних, сильних та слабких взаємодій) гравітація має особливий статус. Інші сили, наприклад, електромагнетні, діють у просторі-часі, який є простим умістилищем фізичних подій, декорацією, на тлі якої вони й відбуваються. Зовсім інший характер має гравітація. Вона не діє пасивно на фоні простору-часу (абсолют Ньютон), радше сама гравітація є „спотворенням” простору-часу. Гравітаційне поле – це „кривизна” простору-часу.

В інерціальній системі відліку при використанні декартових координат метричний тензор є діагональним:

$$g_{ik} = 0, \quad i \neq k,$$

$$g_{00} = 1, \quad g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1.$$

Таку систему координат називають **Галілеєвою**, а ці значення метричного тензора – **Галілеєвими значеннями**.

Тепер знову повернімося до еквівалентності гравітаційного поля й неінерціальних систем відліку. Ми бачили, що при переході від інерціальної системи відліку до неінерціальної, яка рівномірно обертається, тензор g_{ik} може бути отриманий з його Галілеєвих значень. І навпаки, ми могли зробити зворотне перетворення й від недиагональної квадратичної форми перейти до діагональної і до Галілеєвих значень тензора g_{ik} . Справжнє гравітаційне поле не можна, як уже зазначалось, „вимкнути” ніяким перетворенням координат. Математично це виражається в тому, що перетвореннями чотирьох величин x^0, x^1, x^2, x^3 не можна в усьому просторі надати десятком величин g_{ik} наперед заданого вигляду¹⁰. Такий простір називають „кривим”, на відміну від „плоского”, у якому таке приведення g_{ik} до Галілеєвих значень можливе.

Отже, геометрія реального простору-часу є неевклідовою геометрією, де „квадрат” віддалі

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k, \quad g_{ik} = g_{ik}(x^0, x^1, x^2, x^3).$$

⁹Для ще допитливіших. У цьому конкретному випадку компоненти метричного тензора є такими:

$$g_{00} = 1 - \frac{\omega^2}{c^2} [(x^1)^2 + (x^2)^2], \quad g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1,$$

$$g_{10} = g_{01} = \frac{2\omega}{c} x^2, \quad g_{02} = g_{20} = -\frac{2\omega}{c} x^1,$$

решта $g_{ik} = 0$.

¹⁰ Усіх величин g_{ik} є $4 \times 4 = 16$, з них 4 діагональних $g_{00}, g_{11}, g_{22}, g_{33}$ і 12 недиагональних. Однак внаслідок симетрії $g_{ik} = g_{ki}$ з цих 12 незалежними є лише 6. Тому усіх незалежних є 10 величин g_{ik} .

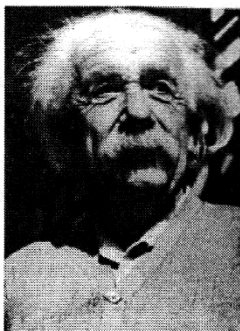


Таку геометрію називають **рімановою геометрією**, а **простори**, що задані такою метрикою, називають **рімановими**. У кожній точці x^0, x^1, x^2, x^3 , такого простору гравітаційне поле еквівалентне „вільно падаючій системі координат”: тобто задати гравітаційне поле – означає задати в кожній точці „вільнопадаючу систему” зі своїм локальним напрямком осей координат, що й визначає кривизну простору.

VIII

Перейдімо до питання про побудову рівнянь, що описують фізичні явища і, зокрема, саму гравітацію в неевклідовій геометрії. Зрозуміло, що ми вже не можемо виділити одну інерціальну систему відліку для всього простору. У кожній точці простору окремо таку систему можна ввести. Однак для всього простору це можливо лише за відсутності гравітації (плоский простір). У зв'язку з цим виникає **принцип загальної коваріантності**: *якщо рівняння виражають закони природи, то в Галілеєвих координатах вони повинні мати вигляд, який дає спеціальна теорія відносності, а при переході до довільних криволінійних координат ці рівняння повинні зберігати свою форму або, як кажуть, вони є коваріантними.*

Цей принцип є наслідком того, що в загальній теорії відносності ми не можемо виділити будь-яку систему відліку – вони всі рівноправні. Однак це не означає, що ці системи відліку є фізично



Альберт Айнштайн
(1879–1955)

еквівалентними. Конкретні явища у всіх системах відліку різні. Принцип загальної коваріантності є керівним при побудові рівнянь, що виражають закони природи. Ми повинні виходити з рівнянь спеціальної теорії відносності в Галілеєвих координатах, а потім переписати ці рівняння в криволінійних координатах так, щоб при переході від

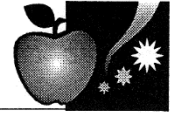


Давид Гільберт
(1862–1943)

однієї криволінійної системи координат до іншої вигляд цих рівнянь не змінювався. Оскільки „криволінійність” задається метричним тензором g_{ik} , то ці рівняння будуть справедливими в полі тяжіння. Зрозуміло, однак, що для гравітаційного поля повернення в цих рівняннях до Галілеєвих значень g_{ik} будь-якими перетвореннями вже неможливе. Для того щоб знайти g_{ik} , нам потрібно побудувати рівняння для цієї величини, яке б пов'язувало тензор g_{ik} з розподілом мас у просторі. Це і будуть рівняння гравітаційного поля.

Рівняння поля тяжіння в релятивістичній механіці повинні бути значно складнішими, ніж рівняння Максвелла. Чому? Річ у тім, що електромагнетне поле не переносить заряду. Воно переносить електромагнетну енергію, а не заряд. Гравітаційне поле також переносить енергію. Однак, оскільки енергія пов'язана з густиною маси ρc^2 , яка породжує поле, то це означає, що поле само повинно давати внесок у своє джерело. Отже, рівняння поля тяжіння повинні бути, на відміну від рівнянь Максвелла, нелінійними рівняннями. І якраз ця нелінійність повинна описувати дію гравітації самої на себе.

Ми не будемо тут подавати виведення самих рівнянь, але зупинимось на деяких історичних моментах. Важливість принципу еквівалентності інертної та важкої мас зауважив А. Айнштайн 1907 року. Його дивувало, що упродовж такого довгого періоду ніхто не звертав увагу на можливе застосування та наслідки цього фундаментального принципу. Однак ідея пов'язати гравітацію з кривизною, мабуть, виникла в нього під час співпраці з угорським математиком Марселем Гроссманом (1878–1936), а, можливо, і під його впливом. Факт той, що в них є одна спільна праця з 1913 року. Вона цікава тим, що фізичну частину написав А. Айнштайн, математичну – М. Гроссман, який



IX

знав теорію неевклідових просторів. Саме в цій статті вперше явно сформульовано зв'язок гравітації й геометричних властивостей простору. Тут уперше систематично застосовано тензорний аналіз і Гроссман указав на те, що в рівняння гравітації повинен входити тензор кривизни.

А. Айнштайн шукав рівняння гравітаційного поля шляхом їх несуперечливого конструювання з 1907 до 1915 року. Однак 1915 року першим ці рівняння винайшов і опублікував видатний німецький математик Давид Гільберт (1862–1943) виходячи з фундаментального принципу найменшої дії, який своєю чергою є узагальненням відомого принципу Ферма про найменший час стосовно поширення світла у середовищі. Правильний варіант рівнянь гравітаційного поля А. Айнштайн опублікував також 1915 року, але після Д. Гільберта.

Суть рівнянь полягає в тому, що, з одного боку, гравітація є викривленням простору, а з іншого – джерелом гравітації, а отже, джерелом цієї кривизни – є маса. Маса своєю чергою пов'язана через множник c^2 з енергією. Тому рівняння Гільберта–Айнштайна для гравітаційного поля якісно мають такий вигляд¹¹:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{кривизна} \\ \text{простору} \end{array} \right\} = \text{const} \left\{ \begin{array}{l} \text{густина} \\ \text{енергії} \end{array} \right\}.$$

Кривизна простору є геометричним поняттям. Зокрема, для сфери радіуса a так звана скалярна кривизна дорівнює $2/a^2$. Стала величина $\text{const} = 8\pi G/c^4$, де G – гравітаційна стала.

Розв'язок цих рівнянь дає метричний тензор g_{ik} , компоненти якого повністю визначають геометричні властивості простору і стан гравітаційного поля. Маючи g_{ik} , ми можемо розв'язувати рівняння руху для пробних тіл та досліджувати властивості простору–часу.

¹¹Для допитливих. Насправді, у ліву частину цього рівняння входить детальніша інформація про властивості простору, а саме, так званий тензор Річчі, який отримують із тензора кривизни четвертого рангу або тензора Рімана–Крістоффеля операцією спрощення за двома індексами. Скалярну кривизну простору одержуємо операцією спрощення тензора Річчі. У праву частину цього рівняння входить тензор енергії–імпульсу речовини. Ельвін Бруно Крістоффель (1829–1900) – німецький математик.

Із розв'язків рівнянь Айнштайна–Гільберта для g_{ik} випливає висновок про сповільнення ходу годинника у гравітаційному полі: чим сильніше поле, тим повільніше йде годинник. Іншими словами, для зовнішнього спостерігача події у гравітаційному полі відбуваються повільніше. Оскільки йдеться про закони природи, а не лише механіки, то сповільнюється хід і нашого біологічного годинника, який контролює внутрішні ритми живого організму, що запрограмовані генетично¹².

Якщо б ми мали два синхронізовані годинники і один з них помістили б у гравітаційне поле, то після цього годинник, що був у полі, відставав би від того, який не побував у полі. Цей ефект можна спостерігати експериментально.

Нехай за годинник ми вибрали коливний процес. За допомогою світла цей коливний процес можна перенести в просторі. Без такого переносу неможливо встановити сповільнення часу, оскільки сповільнюється хід не лише годинника, за яким ми спостерігаємо, а й хід еталонного годинника¹³. Відповідно до сповільнення ходу часу частота електромагнетних хвиль, що випромінюється атомом, збільшується при наближенні до тіла маси M , що створює гравітаційне поле. Навпаки, при віддаленні від цього тіла частота зменшується.

Якщо, наприклад, промінь світла, випущений на Сонці, де потенціал дорівнює Φ_1 , прийнятий на Землі, де потенціал поля дорівнює Φ_2 , то відношення частоти, прийнятої на Землі ω_2 , до час-

¹²Між іншим життя на Землі підкорене ритмам. Є різні типи ритмів, які змінюють активність усього живого. Так званий циркадіанний ритм є причиною нашого дискорфоту при перелеті з одного континенту на інший (ми „приходимо до себе” лише десь за десять днів), але саме йому людина завдячує нормальному стану в умовах арктичного дня або арктичної ночі. Циркануальні ритми програмують зимову сплячку тварин та сезонні міграції птахів. Є, наприклад, півторагодинний ритм, який впливає на продуктивність нашої уваги...

¹³„...До того ж уся ота аж ніяк не приваблива маніпуляція з часом. Ті зловісні змови, чіпке підкрадання в його механізми, ризиковані витребеньки – коло його дражливих тасмниць! Інколи хочеться грюкнути об стіл і кричати на все горло: – Досить уже, зась вам до часу, час недоторканий, час не можна провокувати! Вам що – не досить простору? Якраз-от простір – для людини, у просторі можете собі гасати доволі, вимахуватися, беркицькатися, стрибати з зірки на зірку. Але, на милість Боже – не чіпайте часу!”
Бруно Шульц. Санаторій під Клепсидрою (Переклад Андрія Шкраб'юка). Львів: Просвіта. 1995.



тоти світла, випущеного на Сонці ω_1 , дорівнює

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_1} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{c^2}$$

Сонце (потенціал Φ_1)



промінь світла,
випущений атомом
на Сонці



Земля (потенціал Φ_2)

Рис. 5. Червоне зміщення спектральних ліній атомів у гравітаційному полі: поки фотон „добіжить” від Сонця до Землі, його частота зменшиться

Оскільки $\Phi_1 < 0$ і за величиною більше на три порядки за величину Φ_2 , то $(\omega_2 - \omega_1) < 0$. Тобто на Землі реєструємо світло ω_2 меншою, ніж частота на Сонці ω_1 . Іншими словами, відбувається зміщення частоти в бік менших значень. Таке явище називають червоним зміщенням: спектральні лінії атомів, прийняті на Землі, зсунуті в червону ділянку спектра порівняно з тими, якими вони були на Сонці (рис. 5)

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = G \frac{M_\odot}{c^2 R_\odot} \approx 2,12 \cdot 10^{-6}$$

де M_\odot – маса Сонця, R_\odot – його радіус.

Ще один цікавий ефект – це відхилення світла Сонцем. Коли світло від далекої зорі поширюється поблизу Сонця, воно відхиляється від початкового напрямку на кут

$$\Delta\varphi = 4 \frac{M_\odot G}{c^2 R_\odot} = 1,75''$$

Різниця кутового положення зорі, коли спостерігач на Землі є в точці 2 і, отже, коли гравітація Сонця не впливає на траєкторію фотонів, і в точці 1 (через півроку), дорівнює $\Delta\varphi$ (рис. 6). Експериментальні спостереження за зорями під час затемнення Сонця і спостереження радіовипромінювання квазарів під час затемнення їх Сонцем підтверджують цей результат. Уперше ці вимірювання провів (з 30% точністю) 1919 року видатний англійський астрофізик і фізик Артур Стенлі Едінгтон (1882–1944). 1919 року під час

дослідження спеціальною експедицією затемнення Сонця (на островах Собрал біля узбережжя Бразилії та Принсипі у Гвінейській затоці) він уперше експериментально виявив і виміряв передбачене загальною теорією відносності відхилення світла зір Сонцем. Саме це і привернуло ува-

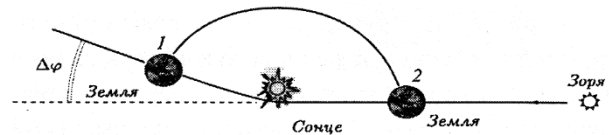


Рис. 6. Відхилення світла Сонцем. Під час затемнення Сонця можна побачити, що зорі, світло яких проходить біля поверхні Сонця, ніби змістилися від свого попереднього положення, на якому вони були півроку

гу громадськості до теорії відносності, а А. Айнштайн став відтоді знаменитим. Сучасна точність вимірів дає підтвердження цього ефекту з невизначеністю $\sim 1\%$.

Наступний ефект – це так зване вікове зміщення перигелію орбіт планет. Як відомо, теорія Ньютона пояснила рух планет навколо Сонця, зокрема, їх траєкторії – це еліпс, в одному з фокусів якого і знаходиться Сонце. Однак виявилось, що найближче положення планети до Сонця (перигелій) зміщується із часом. Тобто траєкторія планети, насправді, є не еліпсом, а має форму розетки, яка зображена на рис. 7.

Це наслідок того, що викривлення простору Сонцем як джерелом гравітації є таким, що його (викривлення) можна трактувати не лише як силу притягання, обернено пропорційну до квадрата відстані (закон Всесвітнього тяжіння), а ще плюс додаткове притягання обернено пропорційне

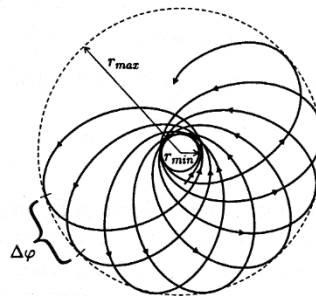


Рис. 7. Розетка траєкторії планети навколо Сонця. Для зручності тут кутове зміщення $\Delta\varphi$ зображено не для перигелію, а для афелію



до куба відстані. Цей ефект, зрозуміло, є найбільшим для наближеної планети до Сонця, тобто для Меркурія.

Чисельно зміщення перигелію Меркурія, яке передбачає теорія,

$$\Delta\varphi = \frac{6\pi GM_{\odot}}{c^2 a(1 - \varepsilon^2)},$$

де a – велика піввісь еліпса, ε – його ексцентриситет, дорівнює

$$\Delta\varphi = 42,95'' \text{ за } 100 \text{ років.}$$

Пояснення „аномального” зміщення перигелію Меркурія було одним з перших успіхів загальної теорії відносності. Однак інтерпретація цього ефекту й сьогодні зустрічається з великими труднощами й незгодженістю. Виміряне зміщення перигелію відоме точно (з урахуванням збурювальних ефектів від інших планет): за оптичними спостереженнями Меркурія за останні три сторіччя з точністю $\sim 1\%$, а за радіолокаційними вимірами за останні десятки років з точністю близько $0,5\%$. Проте передбачуваний ефект складається з двох основних частин: одна зумовлена релятивістичною гравітацією, а друга – можливою сплюсненістю Сонця, що призводить до спотворення гравітаційного потенціалу Сонця.

Ці три ефекти, а також експериментально підтвержене запізнення радіосигналів у полі тяжіння, є емпіричною базою загальної теорії відносності.

Х

Загальна теорія відносності поряд з цими успіхами із самого початку свого створення зіткнулась з цілою низкою проблем. Ми не будемо обговорювати їх тут, укажемо лише на так звану проблему енергії гравітаційного поля, яка є тотожно рівною

нулевій. Не виявлено також експериментально й гравітаційних хвиль, які передбачає теорія, але при дуже спеціальних умовах отримання їх із рівнянь поля. Немає задовільної квантової теорії гравітації. Ці та інші проблеми привели до появи низки альтернативних теорій. Однак сьогодні загальна теорія відносності є найбільш задовільною теорією класичної гравітації.

На завершення, декілька слів про сучасну космологію, яка потребує окремої розмови, і яка також ґрунтується на загальній теорії відносності. Рівняння Айнштейна–Гільберта допускають розв’язки, які описують Всесвіт, що розширюється. Ці розв’язки знайшов у 1922–1924 роках російський учений Олександр Олександрович Фрідман (1888–1925). Експериментально розширення Всесвіту підтвердив 1929 року американський учений Едвін Пауел Габл (1889–1953), який виявив розбігання галактик. Гіпотеза Г. А. Гамова¹⁴ про Великий Вибух Всесвіту з надгарячого й надгустого стану матерії, коли праматерія була об’єднана з прагеометрією, та підтвердження цієї гіпотези експериментальним виявленням передбаченого реліктового електромагнетного випромінювання справили сильне враження не лише на науковий світ, а й просунули наше пізнання далеко вперед.

ЛІТЕРАТУРА

1. Альберт Ейнштейн. Собрание научных трудов. Т. I–II. Работы по теории относительности. – М.: Наука, 1966. (особливо праці 1907, 1913, 1915 рр.).
2. Вакарчук І. О. Лекції з загальної теорії відносності. – Львів: ЛДУ ім. І. Франка, 1991.
3. Вейнберг С. Гравитация и космология. – М.: Мир, 1975.

¹⁴Георгій Антонович Гамов народився 1904 року в Одесі, помер 1968 року в Боулдері (Колорадо, США). По материнській лінії походив він з української священицької родини Лебединцевих. Його дід, Митрополит Арсеній Лебединцев, був настоятелем Одеського Собору і правлячим ієрархом православної церкви Новоросії. Георгій Гамов, в особистому житті людина трагічної долі, був ученим, що мав майже надприродні здібності генерувати несподівані самородкові ідеї з простим їх тлумаченням. Він автор піонерської праці з теорії радіоактивного розпаду, автор „гарячого первинного вибуху” (Hot Big Bang) – теорії еволюції Всесвіту (1948) з передбаченням існування реліктового випромінювання, яке експериментально виявили 1965 року Р. Р. Вільсон та А. Пензіас. А після відкриття 1954 року Д. Ватсоном і Ф. Кріком структури молекули ДНК Гамов перший висунув теорію, що ця структура містить у собі генетичний триплетний код із чотирьох символів, через який і відбувається відтворення живого. Читач може дізнатись багато цікавого з його книжки „Моя мировая линия: неформальная автобиография”. (М.: Наука, 1994).



Сто років квантовій фізиці*

Даніель Клепнер,

професор фізики Масачусетського технологічного інституту, США,

Роман Яцків,

професор фізики Масачусетського технологічного інституту, США

До переліку найбільших наукових досягнень ХХ сторіччя входять загальна теорія відносності, квантова механіка, космологічна теорія великого вибуху, розшифрування генетичного коду, еволюційна біологія. Сюди можна долучити ще декілька тем за вибором читача. У цьому переліку квантова механіка є унікальною завдяки своїй радикальності. Квантова механіка примусила фізиків переглянути сприйняття реальності, перебудувати уявлення про речі на найглибшому рівні, модифікувати такі здавалося б твердо встановлені поняття, як координати і швидкості, причини та наслідку тощо.

Незважаючи на те, що квантова механіка створювалась для опису доволі абстрактного, віддаленого від нас світу атомів, її вплив на повсякденне життя людства важко переоцінити. Захопливі досягнення у хімії, біології та медицині – і значною мірою в будь-якій іншій галузі не відбулися б без інструментарію, що виробила і втілила в життя квантова механіка. Без квантової механіки не йшла б сьогодні мова про міжнародну економіку, тому що революція в електроніці, яка розпочала комп'ютерну еру, є дитям квантової механіки. Вона спричиняє і прорив у фотоніці, що започаткував інформаційні технології. Квантова механіка трансформувала наш світ, принісши зі собою всі переваги і ризики – супутники наукової революції.

На відміну від загальної теорії відносності, яка народилася завдяки блискучому проникненню в суть зв'язку геометрії і гравітації, або розшифрування ДНК, яке відкрило новий світ біології, квантова механіка з'явилася не так раптово. Навпаки, її поступове народження припадає на один з не-

багатьох періодів в історії концентрації людського генія. Новоявлені квантові ідеї були настільки незбагненними, що впродовж двадцяти років не було підстав для подальшого прогресу, а потім за три роки маленька група фізиків створила квантову механіку.

Унікальну ситуацію цієї головної, і водночас важкої для сприйняття, теорії можна передати таким спостереженням. Квантова механіка найкраще експериментально перевірена і найуспішніша теорія в історії науки. Проте не тільки її засновники були стурбовані своїм витвором, а й сьогодні – 75 років після побудови теорії – багато наукових світил незадоволені фундаментом та інтерпретацією квантової механіки, визнаючи водночас її приголомшливу силу.

2000 року ми відзначали сторіччя від часу створення Максом Планком квантової концепції¹. У своїй визначальній праці з теплового випромінювання він висловився про неможливість континуальної зміни коливної енергії. Натомість енергія має змінюватися стрибкоподібно дискретним кроком (квантом). Ідея квантування енергії була настільки радикальною, що М. Планк перестав її розробляти. Потім А. Айнштейн дивовижно плідного 1905 року побачив життя в гіпотезі квантування світла. Однак й тоді концепція здавалася незбагненною, і підстав для прогресу на той час було замало. Для створення сучасної квантової теорії були потрібні двадцять років і „свіжа” генерація фізиків.

Щоб зрозуміти революційний вплив квантової механіки, треба лише поглянути на доквантову фізику. З 1890 до 1900 року фізичні журнали „розпухали” від статей із атомними спектрами та іншими властивостями, що підлягають вимірюванню, такими як пружність, в'язкість, електрич-

*Стаття друкється з ініціативи одного з авторів Р. Яцкова. Переклали з англійської (журнал „Science”. 2000. Vol. 289. N 5481. P. 893–898) Тетяна Богдан і Семен Тригубенко.

¹Читайте про це в журналі „Світ фізики”. 2001. № 1.



на та теплова провідність, коефіцієнти розпаду, показниками заломлення і термопружними коефіцієнтами. Процес нагромадження інформації, пришпорений вікторіанською робочою етикою і вдосконаленням експериментальних методів, йшов з дивовижною швидкістю.

Вражаючим із погляду сучасності є той факт, що доволі лаконічні описи властивостей речовини були, по суті, емпіричними. Тисячі сторінок спектральних даних демонстрували точні величини довжин хвиль для різних елементів, але ніхто не знав, чому існують спектральні лінії, і яку інформацію вони в собі містять. Тепло- та електропровідності інтерпретувалися в рамках моделей, які грубо описували лише половину відомих фактів. Не дивно, що це примушувало замислюватися. Велика кількість чисельних законів не давала задовільних результатів. Наприклад, закон Дюлонга–Пті встановлював просту залежність між питомою теплоємністю та атомною масою матеріалу. Закон здебільшого спрацьовував, однак траплялося й навпаки. Маси рівних об'ємів газів не завжди були у цілочисельних співвідношеннях. Періодична система елементів, яка забезпечила головний принцип для процвітання хімічних наук, не мала ніякого теоретичного обґрунтування.

Серед найбільших досягнень цієї революції є забезпечення квантовою механікою кількісної теорії речовини. Зараз ми розуміємо кожну деталь атомної структури; періодична система отримала просте і природне пояснення; великі масиви спектральної інформації було „втиснуто” в елегантну теоретичну канву. Квантова теорія пояснює такі дивні явища, як надплинність і надпровідність, екзотичні форми організації речовини – скупчення нейтронних зір, конденсацію Бозе–Айнштейна, коли усі атоми поведуться як один великий суператом. Квантова механіка забезпечує вишукані методи для будь-якої галузі науки чи сучасної технології.

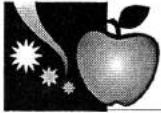
Квантова фізика складається з двох розділів. Перший – це теорія речовини на атомному рівні – квантова механіка, що дає змогу розуміти і використовувати матеріальний світ. Другий розділ – це квантова теорія поля. Вона відіграє зовсім іншу роль у науці, і ми до цього повернемося пізніше.

Квантова механіка

Квантова революція розпочався не із досліджень речовини, а з проблеми в розумінні природи випромінювання. Найбільша потреба була в тому, щоб зрозуміти спектр випромінювання нагрітих тіл, зокрема випромінювання чорного тіла. Це явище знайоме будь-кому, хто хоч раз дивився на вогонь. Гарячі тіла світять, і що більше нагріте тіло, то яскравіше те світло. Спектр випромінювання широкий, із максимумом, що зсувається з червоної зони до жовтої й аж до блакитної (хоча ми цього не бачимо) водночас, як температура підвищується. Розуміння форми спектра випромінювання нагрітих тіл мало б прийти із застосування концепції термодинаміки і теорії електромагнетизму. Однак усі спроби пояснити прості закономірності зазнали поразки. Лише вважаючи енергії електронів, що коливаються, квантовими, М. Планк отримав вираз, що прекрасно узгоджувався із експериментами. Однак він, надто добре все розуміючи, зазначив, що теорія абсурдна з фізичного погляду того часу. Пізніше він назвав ці свої вагання і свою сміливу гіпотезу „актом відчаю”.

Планк застосував свою квантову гіпотезу до енергій осциляторів у стінках випромінюючого тіла. Квантова фізика могла б закінчити на цьому свій розвиток, але 1905 року новачок у науці Альберт Айнштейн змушений був зробити такий висновок із своїх розрахунків: якщо квантується енергія осцилятора, то і енергія електромагнетного поля, яке він випромінює, має бути квантовою. А. Айнштейн, отже, наділив світло властивостями частинки, незважаючи на теорію Джеймса Кларка Максвелла та сторіччя визначних експериментів, які свідчили на користь хвильової природи світла. Експерименти з фотоелектричного ефекту впродовж наступного десятиріччя показали, що при поглинанні світла його енергія надходить дискретними порціями, ніби принесена частинкою. Дуальна природа світла – хвилька чи корпускулярна, залежно від того, що є предметом досліджень – була першим прикладом хвильової теми, яка буде багато разів поставати за історію квантової механіки. Ця дуальність була теоретичною загадкою наступні 20 років.

Перший крок назустріч квантовій теорії зробила дилема про випромінювання. До другого кроку підштовхнула дилема про речовину. На той час



було відомо, що атоми складаються із позитивно і негативно заряджених частинок. Але частинки з протилежним зарядом притягаються. За теорією електромагнетизму ці частинки мають рухатися по спіралі назустріч одна одній, випромінюючи світло в широкому діапазоні, аж доки не зітнуться.

І знову двері прогресу відчинив новачком Нільс Бор 1913 року. Н. Бор запропонував радикальну гіпотезу: електрони в атомі існують тільки в певних стаціонарних станах, включаючи й основний стан. Електрони змінюють свою енергію, стрибаючи між цими станами, випромінюючи світло, енергія якого залежить тільки від різ-



Нільс Бор
(1885–1962)

ниці енергій цих станів. Комбінуючи відомі закони із дивакуватими припущеннями щодо квантової поведінки, Н. Бор розв'язав проблему стабільності атома. Теорія Бора була повною суперечностей, однак вона була здатна не тільки якісно, а й кількісно описати спектр атома водню. Звичайно, Н. Бор розумів як переваги, так і хибі своєї моделі. З дивовижною прозорливістю він спонукав науковців творити нову фізику. Його передбачення здійснилося, але для цього знадобилось 12 років та нове покоління фізиків.

Спочатку спроби вдосконалити квантові ідеї Бора – так званої старої квантової теорії – одна за одною зазнавали поразки.

1923 року Луї де Бройль у докторській дисертації зробив припущення, що корпускулярній поведінці хвилі має відповідати хвильова поведінка частинки. Він зіставив довжину хвилі з імпульсом частинки: що більший імпульс, то коротша довжина хвилі. Ідея заінтригувала багатьох, адже ніхто не знав, що могла означати хвильова природа частинки, і який стосунок вона мала до



Луї де Бройль
(1892–1987)

структури атома. Однак гіпотеза де Бройля була предтечею подій, які не змусили на себе чекати.

Уже влітку 1924 року з'явився ще один передвісник. Сатієндра Н. Бозе запропонував абсолютно по-новому пояснити закон випромінювання Планка. Він уявляв світло, як газ безмасових частинок (зараз відомих як фотони), що не підкоряються класичному закону розподілу Больцмана, але поведуться згідно з новою статистикою, основою на нерозрізненості частинок. А. Айнштайн відразу застосував міркування С. Бозе до реального газу масивних частинок і отримав новий закон розподілу станів за енергією в газі, пізніше названий статистикою Бозе–Айнштейна. За нормальних умов стара й нова теорії однаково описували поведінку частинок у газі. А. Айнштайн втратив інтерес до цього питання. Ці ідеї пролежали нерозроббути потрібнаними майже 10 років. Але головна ідея про нерозрізненість частинок мала невдовзі стати надзвичайно важливою.

Несподівано бурхливий потік відкриттів вилився в наукову революцію. За трирічний період з січня 1925 до січня 1928:

– Вольфганг Паулі запропонував принцип заборони, забезпечуючи теоретичну основу для періодичної таблиці елементів.

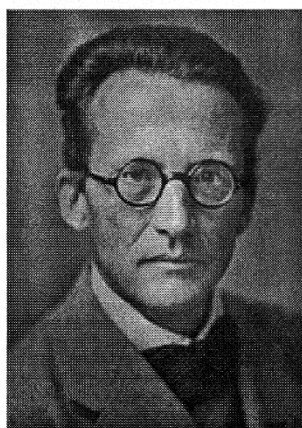
– Вернер Гайзенберг разом з Максом Борном і Паскуалем Йорданом відкриває матричну механіку – першу версію квантової механіки. Історичну мету розуміння руху електрона в атомі було залишено на користь систематизації спостережуваних спектральних ліній.

– Ервін Шредингер винайшов хвильову механіку – другу версію квантової механіки, в якій



стан системи описувався хвильовою функцією. Було доведено, що хвильова та матрична механіка, здавалося б, несумісні, насправді еквівалентні.

– З'ясувалось, що електрони підкоряються новому типові статистики – розподілу Фермі–Діра-



*Ервін Шредингер
(1887–1961)*

ка, а всі частинки – або статистиці Бозе–Айнштайна, або Фермі–Дірака і поділяються на два класи частинок із суттєво різними властивостями.

– В. Гайзенберг проголосив принцип невизначеності.

– Поль А. М. Дірак розробив релятивістське хвильове рівняння, яке пояснило спін електрона і передбачило існування антиречовини.

– П. Дірак заклав основи для квантової теорії поля, зробивши квантовий опис електромагнетного поля.

– Н. Бор виголосив принцип доповнювальності, філософський принцип, який допоміг зрозуміти явні парадокси квантової теорії, насамперед корпускулярно-хвильову дуальність.

Провідні гравці створення квантової теорії були надзвичайно молодими. В. Паулі 1925 року (йому було 25 років), В. Гайзенбергові та Е. Фермі – 26, П. Діракові й П. Йорданові – 23. Е. Шредингер у 36-річному віці був, так би мовити, у пізньому розквіті. Символічно, що внесок старших М. Борна і Н. Бора мав здебільшого тлумачний характер. Радикальним було ставлення А. Айнштайна до своїх інтелектуальних досягнень. Зробивши відкриття, важливі для квантової механіки, А. Айнштайн не визнав цієї теорії. Його праця зі статистики бозонів була його останнім внеском у квантову фізику і власне останнім вагомим внеском у фізику загалом.

Для створення квантової механіки було потрібне нове покоління фізиків. Лорд Кельвін пояснив причину цього в своєму листі 1913 року до Н. Бора, вітаючи його з працею про атом водню. Він зазначив, що в його статті багато правди, але він не зміг її зрозуміти до кінця: радикально нова фізика вимагала вільних від упереджень і мудрих голів.

1928 року революція завершилась – основи квантової механіки були закладені. Шалена швидкість, з якою відбувалися події, яскраво ілюструється анекдотом, переказаним покійним Авраамом Паїсом у книзі *Inward Bound*. 1925 року Самюель Гаудсміт і Джордж Уленбек запропонували концепцію спіну електрона. Н. Бор поставився до цього скептично. У грудні він подорожував до Лейдена в Нідерланди, щоб взяти участь у вечірці на честь докторського звання Хенріка А. Лоренца. В. Паулі зустрів поїзд у Гамбурзі, щоб дізнатися думку Бора про можливе існування спіну електрона. Н. Бор назвав це припущення „дуже цікавим” (за цими словами він зазвичай приховував своє негативне ставлення). Пізніше в Лейдені Н. Бора зустріли А. Айнштайн і П. Еренфест, щоб обговорити концепцію спіну. А. Айнштайнові вдалося переконати Н. Бора в існуванні спіну. На зворотному шляху на Н. Бора чекали нові обговорення. В Геттінгені на вокзалі чекали В. Гайзенберг і П. Йордан, щоб запитати його думку. А на берлінському вокзалі знову чекав В. Паулі, який спеціально приїхав з Гамбургу. Н. Бор відповів їм, що відкриття спіну є великим досягненням.

Створення квантової механіки каталізувало наукову „золоту лихоманку”. Серед ранніх відкриттів були такі: В. Гайзенберг 1927 року заклав основи теорії атома, отримавши наближений розв’язок рівняння Е. Шредингера для атома гелію, загальні положення розрахунку атомних структур невдовзі створив Джон Слейтер, Дуглас Рейтер Хартрі та Володимир Фок. Структуру молекули водню розв’язав Фріц Лондон і Вальтер Гейтлер. Надбудувавши їхні результати, Лінус Полінг заснував теоретичну хімію. Арнольд Зоммерфельд і В. Паулі створили підвалини для теорії електронів у металах, а Фелікс Блох розробив теорію структури смуг. В. Гайзенберг пояснив ферромагнетизм. Загадкову природу радіоактивного розпаду з випромінюванням α -частинок пояснив Георгій Гамов, який 1928 року довів, що механізм цього



явища – це квантово-механічне тунелювання. Згодом Ганс Бете заклав основи ядерної фізики і пояснив джерело енергії у зорях. З цими надбаннями атомна, молекулярна, ядерна фізика та фізика твердого тіла вступили в сучасну еру.

Суперечності та плутанина

Разом з цими досягненнями відбувалися шалені дебати з приводу інтерпретації та достовірності квантової механіки. Нову теорію найбільше підтримували Н. Бор і В. Гайзенберг, незадоволеними залишилися А. Айнштайн і Е. Шредингер. Щоб повністю усвідомити причини такого сум'яття, треба зрозуміти основні положення квантової теорії, викладені нижче. (Для простоти опишемо шредингерівську версію квантової механіки, яку іноді називають хвильовою механікою.)

Фундаментальний опис: хвильова функція. Поведінка системи описується рівнянням Шредингера. Розв'язки рівняння Шредингера називають хвильовими функціями. Повний опис системи задається її хвильовою функцією, та із хвильової функції можна вирахувати будь-яку спостережувану величину. Ймовірність знаходження електрона у цьому об'ємі пропорційна квадратові модуля хвильової функції. Відповідно, місцезнаходження частинки „розпорошене” по об'єму хвильової функції. Імпульс частинки залежить від градієнту хвильової функції: що більший градієнт, то вищий імпульс. Оскільки градієнт змінюється від одного місця до іншого, то момент теж виявляється „розмазаним”. Тому в серці квантової механіки закладена потреба відмовитись від класичної картини, в якій положення та швидкість можна визначити з однаковою на користь розмиті картини ймовірностей.

Вимірювання, зроблені в однакових системах, не дають однакових результатів. Результати радше будуть розсіяні по проміжку, який описується хвильовою функцією. Як наслідок, концепція електрона, який має конкретні координати і конкретний момент, втрачає сенс. Принцип невизначеності відтворює ці думки в математичних термінах: для того, що точно визначити координату частинки, потрібно щоб хвильова функція була дельтаподібною. Але така поведінка вимагає крутого градієнту функції, відповідно розкид значень моменту буде великим. І навпаки, якщо імпульс має невелику кількість значень, відповідно градієнт хви-

льової функції малий, й хвильова функція охоплює великий об'єм, і отже, з меншою точністю описує координату частинки.

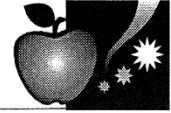
Хвилі можуть інтерферувати. Їхні максимуми можуть або додаватися, або відніматися залежно від їхньої відносної фази. Якщо амплітуди мають спільну фазу, вони додаються, якщо ні – віднімаються. Якщо хвиля може декількома шляхами



Вернер Гайзенберг
(1901–1976)

пройти від джерела до приймача, як наприклад, світло, яке інтерферує на двох шпарилах, то освітлення матиме характер інтерференційної картини. Частинки, які підкоряються хвильовому рівнянню, мають таку саму поведінку (приклад – дифракція електронів). Така аналогія має сенс доти, доки ми не замислимося над природою хвилі. Хвилю, зазвичай, уявляють як збурення середовища. У квантовій механіці немає поняття середовища, так само як немає і самої хвилі, оскільки хвильова функція є лише втіленням нашого уявлення про систему.

Симетрія та тотожність. Атом гелію складається з ядра, оточеного двома електронами. Хвильова функція гелію описує положення кожного з електронів. Однак неможливо відрізнити один з електронів від іншого. Отже, якщо електрони поміняти місцями, то вигляд системи не зміниться, це теж саме, що ймовірність перебування електронів у заданих положеннях залишилась незмінною. Оскільки ймовірність залежить від квадрата модуля хвильової функції, то хвильова функція системи із переставленими частинками має належати до первинної хвильової функції в один з двох можливих способів: або вона тотожна до



первинної хвильової функції, або вона має протилежний знак, тобто помножена на (-1) . То ж яка вона насправді?

Одним з дивовижних відкриттів квантової механіки було те, що для електронів хвильова функція завжди змінює знак. Наслідки цього досить драматичні: оскільки два електрони перебувають в одному квантовому стані, хвильова функція має бути з протилежним знаком. Унаслідок цього загальна хвильова функція має зникнути, а отже, ймовірність перебування двох електронів в одному квантовому стані є нульовою. Це є принци-



Поль Дірак
(1902–1984)

пом заборони Паулі. Усі частинки з половинним спіном, зокрема й електрони, поводяться так, і називаються ферміонами. Для частинок з цілочисленним спіном, таких як фотони, хвильова функція не змінює знака. Такі частинки називаються бозонами. Електрони в атомі заповнюють оболонки, бо вони є ферміонами, а світло від лазера збирається в суперінтенсивний пучок – власне, спільний квантовий стан – тому, що світло складається з бозонів. Нещодавно атоми були охолоджені до такого квантового режиму, де вони утворюють Бозе–Айнштайнівський конденсат, в якому вони можуть випромінювати дуже інтенсивний пучок матерії, утворюючи атомний лазер.

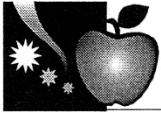
Ці ідеї застосовні лише до ідентичних частинок; якщо переставляються різні частинки, то хвильова функція, без сумніву, зміниться. Отже, частинки поводяться як ферміони або як бозони, лише коли вони є абсолютно однаковими. Абсолютна ідентичність схожих частинок є одним із загадкових аспектів квантової механіки. А серед досягнень квантової теорії поля є пояснення цієї таємниці.

Що це означає? Запитання, чим є хвильова функція насправді, що означає зробити виміри, обговорювались ще в ранні роки. До 1930 року Н. Бор та його колеги розробили стандартну інтерпретацію квантової механіки, так звану Копенгагенську інтерпретацію. Її основними положеннями були ймовірнісний опис речовини і подій та примирення хвильової й корпускулярної природи матерії, використовуючи принцип компліментарності Бора. А. Айнштайн ніколи не прийняв квантової теорії, він про неї сперечався з Н. Бором аж до самої смерті, 1955 року.

Найбільше дебатів точилося навколо питання, чи хвильова функція містить всю можливу інформацію про систему, чи можливо, існують фактори – сховані змінні – які визначають результати певного вимірювання. У середині 1960-х років Джон С. Белл довів, що якби сховані змінні існували, то експериментально вимірювані ймовірності мали б підкорятися певним співвідношенням, так званим „нерівностями Белла”.

Експерименти, які провели незалежні групи, засвідчили, що ці нерівності порушуються. Зібрані дані переконливо довели неможливість існування схованих змінних. Для більшості науковців це було остаточним доказом достовірності квантової механіки.

Однак природа квантової теорії привертає увагу тим, що називають „квантовою дивністю”. Дивні властивості квантових систем з’являються з того, що відоме як „переплутані стани”. Коротко, квантова система, така як атом, може перебувати в якомусь стаціонарному стані, а також у суперпозиції (сумі) таких станів. Коли вимірюється якась величина, така як енергія атома, у стані суперпозиції, то в загальному випадку результат може бути то одним, то іншим. Поки що – нічого дивного. Також можна збудувати двохатомну систему в переплутаному стані, в якому властивості кожного з атомів розподіляються між ними обома. Коли атоми розділяються, інформація про один залишається, тобто зв’язується із станом іншого. Таку поведінку не можна пояснити ніяк інакше, крім мови квантової механіки. Це явище настільки цікаве, що на ньому сфокусовані дослідження маленької, але активної групи теоретиків та експериментаторів. Переплутані стани не тільки теоретично-цікаве питання. Їх уже використовують у системах квантових комунікацій, на них також засновується теорія квантових станів.



Друга революція

У ті бурхливі роки середини 1920-х, коли народжувалась квантова механіка, назрівала інша революція. Закладалися основи для другої галузі квантової фізики – квантової теорії поля. На відміну від квантової механіки, яка була створена в короткий період шквальної активності й швидко сформувалась у завершену теорію, квантова теорія йшла звивистим шляхом, який не завершився досі. Незважаючи на складності, передбачення, зроблені квантовою теорією поля, найточніші; квантова теорія поля створює також парадигму для найважливіших галузей теоретичного пізнання. Проблема, яка спричинила появу квантової теорії, була поставлена питанням, як атом випромінює світло, коли його електрони „перестрибують” із збуджених станів в основний стан. А. Айнштейн 1916 року запропонував розглянути процес, названий спонтанним випромінюванням, але він не знав як порахувати його швидкість. Розв’язання цієї задачі вимагало повністю релятивістської квантової теорії електромагнетних полів, квантової теорії світла. Квантова механіка – це теорія матерії. Квантова теорія поля, як видно із назви, – це теорія полів, і не тільки електромагнетних полів, а й інших полів, які були невдовзі відкриті.

1925 року Н. Борн, В. Гайзенберг і П. Йордан опублікували початкові розробки стосовно теорії світла, але визначальні кроки зробив П. Дірак – молодий і, по суті, невідомий фізик, який працював наодинці. П. Дірак представив свою працю з теорії поля 1926 року. В цій теорії містилася велика кількість підводних каменів: жахлива складність обрахунків, можливість набуття величинами нескінченних значень та очевидне порушення принципу відповідності.

Наприкінці 1940-х років новий підхід до квантової теорії поля – КЕД (квантову електродинаміку) – розробили Річард Фейнман, Джуліян Швінгер та Сін-Ітіро Томонага. Вони розв’язали проблему з нескінченностями процедурою ренормалізації, в якій власне треба відняти нескінченну величину та отримати скінченний результат. Оскільки в цій теорії немає точних розв’язків складних рівнянь, наближений розв’язок подається у вигляді ряду. Складність розрахунку зростає з

кожним наступним доданком. Хоча значення доданків зменшуються із зростанням ряду, в якийсь момент вони можуть зростати: це означатиме, що наближення хибне. Незважаючи на цю загрозу, КЕД вважається одним із найблискучіших успіхів в історії фізики. Теоретична оцінка сили взаємодії електрона з магнетним полем підтвердилася експериментально з точністю до двох трильйонних.

Незважаючи на фантастичний успіх, КЕД залишила місце й для справжнього дива. Бачення цієї теорією порожнього простору – вакууму – спочатку здається абсурдним. Кожний такий простір насправді не порожній. Він радше заповнений малими флюктууючими електромагнетними полями. Ці вакуумні флюктуації були вкрай важливими для пояснення спонтанного випромінювання. Крім того, вони спричиняють малі, але помітні для експерименту зсуви енергетичних рівнів в атомах, а також відповідають за конкретні властивості частинок, таких як електрони. Хоча й здаються вони дивними, ці ефекти було підтверджено найточнішими за всю історію фізики експериментами.

За малих енергій у навколишньому світі квантова механіка фантастично точна. Але за високих енергій, коли відіграють роль релятивістські ефекти, потрібний загальніший підхід. Квантова теорія поля була винайдена для того, щоб узгодити квантову механіку зі спеціальною теорією відносності.

Те чільне місце, яке посідає в фізиці квантова теорія поля, належить їй завдяки відповідям на найглибші запитання про природу речей. Квантова теорія поля пояснює, чому існує тільки два основних класи частинок – ферміони і бозони – і як їхні властивості залежать від їхнього спіну. Вона описує, як частинки, не тільки фотони, а й електрони і позитрони (антиелектрони) виникають й анігілюють. Вона пояснює таємничу природу тождності у квантовій механіці: однакові частинки абсолютно однакові, тому що вони породжуються одним і тим самим полем. КЕД описує не тільки електрони, а цілий клас частинок, названих лептонами, – мюони, тау-мезони та їхні античастинки.



Оскільки КЕД – це теорія для лептонів, вона не може описувати складніші частинки, так звані гадрони. Це стосується протонів, нейтронів і великої кількості мезонів. Для гадронів КЕД була узагальнена в нову теорію – квантову хромодинаміку (КХД). Між КЕД і КХД можна побачити багато аналогій. Як електрони є складовою частиною атомів, так кварки утворюють гадрони. В КЕД посередником для взаємодії заряджених частинок виступає фотон, у КХД взаємодії між кварками опосередковуються глюонами. Незважаючи на ці паралелі, існує суттєва різниця між КЕД і КХД. На відміну від лептонів й фотонів, кварки і глюони замкнені в гадроні. Їх не можна вивільнити і дослідити в ізольованому стані.

КЕД і КХД – наріжні камені для великого теоретичного узагальнення так званої стандартної моделі. Стандартна модель досі успішно враховувала всі експериментальні відомості про елементарні частинки, але багато фізиків вважають стандартну модель неадекватною, тому що значення мас, зарядів та інших властивостей фундаментальних частинок знаходяться емпірично. А ідеальна теорія мала б вираховувати всі ці величини.

Зараз інтенсивна наукова робота сфокусована на пошуках розуміння первинної природи речей. Сучасні дослідження дещо нагадують шалені та дивовижні для створення квантової механіки – теорії, чий висновок можуть виявитися ще далекосяжнішими. Ці дослідження нерозривно пов'язані зі спробою квантового опису гравітації. Незважаючи на 50-річний досвід розробок, процедура квантування електромагнетного поля, яка блискуче спрацювала в КЕД, виявилась незастосовною до гравітації. Ця задача принципова: якщо

загальна теорія відносності і квантова механіка одночасно правильні, то вони мусять узгоджуватись в описах одного й того ж явища. У світі навколо нас суперечності не виникають: тут гравітаційна сила є нескінченно малою порівняно з електромагнетними взаємодіями в атомі, квантовими ефектами можна знехтувати і задовольнитися класичним описом. Але для систем із надзвичайно сильними гравітаційними взаємодіями, таких як чорні діри, поки не існує надійного опису квантової поведінки.

Сторіччя тому наше розуміння фізичного світу було емпіричним. Квантова фізика дала нам теорію матерії та поля – і це знання змінило світ. Переходячи в наступне сторіччя, квантова механіка постачатиме іншим наукам найважливіші концепції та корисний інструментарій. Ми можемо це стверджувати впевнено, тому що для світу навколо нас квантова фізика надає струнку і повну теорію. Однак сучасна фізика має дещо спільне з фізикою 1900 року: вона залишається емпіричною. Не можемо цілком теоретично передбачити властивості елементарних складових матерії – ми мусимо їх вимірювати.

Можливо, цю загадку розв'яже якась нова теорія, наприклад, теорія струн² – узагальнення квантової теорії поля, в якому нескінченності елімінуються заміною точкових об'єктів, таких як електрони, видовженими об'єктами. Якби ми не отримали результати, мрія про глибинне пізнання буде рушійною силою нових досліджень, як це завжди було від світанку науки. Через сто років наслідки досягнення цієї мети змінять нашу уяву.

²Детальніше про це читайте в журналі „Світ фізики”. 1999. № 1.

Даніель КЛЕПНЕР (Daniel Kleppner) – професор фізики та директор дослідницької лабораторії електроніки Масачусетського технологічного інституту. Його наукові інтереси – атомна фізика, квантова оптика, ультраточні спектроскопи та Бозе–Айнштайнівська конденсація.

Роман ЯЦКІВ (Roman Jackiw) – професор фізики Масачусетського технологічного інституту. Займається теорією полів, твердим тілом, елементарними частинками, астрофізикою. Роман Яцків – українського походження, тісно співпрацює з українськими вченими, цікавиться розвитком фізики в Україні.



ПОЛІТИПНІ МАРТЕНСИТНІ СТРУКТУРИ, ЯКІ ВІДКРИВ проф. БОГДАН НИКОЛИН

Сучасна космічна техніка, приладобудівна галузь чи медичний інструментарій ставлять особливі вимоги до властивостей матеріалів для відповідних конструкцій та функціональних елементів. Такі особливі сплави з надзвичайно високими параметрами пружності (явище надпружності) або з прогнатованими змінами форми (так званий ефект пам'яті форми) вдалося отримати не так давно. І суттєвими тут були структурні дослідження мартенситних перетворень у металах і сплавах, які здійснив видатний український кристалофізик Богдан Николин (05.05.1931–04.04.1994). На відзначення його 70-річчя у Львівському національному університеті імені Івана Франка 5 травня 2001 року було проведено об'єднаний науковий семінар фізичного факультету Університету та фізичної комісії Наукового Товариства ім. Шевченка на тему: „Політипизм мартенситних структур”.

Металургія як технологічна галузь має прадавню історію. Металознавство ж як наука сформувалося недавно. Його розквіт припадає на ХХ сторіччя, оскільки дві його найважливіші підвалини: методична (структурний аналіз) і теоретична (квантова теорія), як кажуть, розвинулися на наших очах. Цим не заперечуються й не перекреслюються металознавчі дослідження попередніх десятиріч. Однак це були дослідження лише на емпіричному рівні.

Проблема керування властивостями металів і сплавів (стопів¹) до кінця не розв'язана і в наші дні, хоч успіхи маємо вражаючі.

Від чого залежить пружність та міцність сталі? Від того, що в процесі загартування виникає так звана мартенситна² структурна складова. Тому рентгенографічні дослідження мартенситних перетворень безпосередньо стосуються як з'ясування механізмів цих перетворень, так і розроблення найкращих технологій гартування й відпускання сталей чи сплавів кольорових металів. Такі дослідження, започатковані ще на початку двадцятого сторіччя славним українським ученим, дій-



ним членом НТШ професором І. Фещенком–Чопівським, заклали основи теорії термічної обробки сталей і сплавів, відчутно вплинули на розвиток фізики міцності й пластичності, механізмів фазових перетворень у сплавах.

Богдан Николин детально вивчав механізми й кінетику подібних перетворень за різних термічних режимів, з'ясував вплив на ці процеси легуючих елементів, кристалічних дефектів, зовнішніх деформацій та інших чинників. Для простежування за поведінкою окремих фаз та їхньої надійної кристалоструктурної ідентифікації у процесі мартенситних перетворень довелося удосконалити рентгеновську методику, розробляти оригінальні методи розшифрування складної дифракційної картини на рентгенограмах, застосовувати електроннографічні методи тощо. В результаті – радість відкриття.

Богдан Николин експериментально відкрив цілком несподівані як для металів кристалоструктурні фази, що визначають фізику мартенситних процесів на атомному рівні. Слід зазначити, що пошук був свідомим (не випадковим), бо теоретичне передбачення цього зробив світового рівня вчений-кристалограф Петро Крип'якевич у засадничих журнальних публікаціях, а відтак у монографії „Структурні типи інтерметалевих сполук”, яка вийшла друком 1977 р. Б. Николин спілкувався з ним і завше був вдячний йому за виявлену зацікавленість і консультації. У підсумковій монографії „Багатошарові структури та політипизм у металевих сплавах”, що видрукувана у видавництві „Наукова думка” 1984 р., Николин про це писав. Отже, політипизм у металевих сплавах. Це і є суть відкриття Богдана Николина.

Що таке політипизм? Хто цікавиться атомною структурою кристалів, той ознайомлений з явищами поліморфізму та енантіоморфізму. Що стосується явища політипизму (від грецького *polis* – множинність, *topos* – форма), то воно полягає у тому, що одна і та ж речовина може існувати у різних кристалічних модифікаціях, котрі відрізняються одна від одної порядком чергування атомних площин в одному певному напрямку. Іншими словами, політипизм – це властивість кри-

¹Надалі вживатимемо перший термін як більш узвичаєний, хоч варто б нам все-таки відновити у правах другий термін.

²Мартенсит – (від прізвища німецького металознавця А. Martens'a) штучний твердий розчин вуглецю і α -фериту (низькотемпературної природної модифікації заліза).



сталів заданого складу, залежно від умов росту, утворювати ґратки з однаковими параметрами у двох напрямках та відмінними для третього. Явище було відкрите 1912 р. на кристалах карбиду кремнію (SiC). Згодом багато політипних модифікацій було знайдено в інших діелектричних та напівпровідникових кристалах, особливо тих, що характеризуються т. зв. шаруватою будовою.

Політипи бувають стабільними (рівноважними) і метастабільними (нерівноважними). У металах і сплавах політипизм уперше відкрив Богдан Николин. Восени 1962 р., працюючи вже у київській лабораторії академічного інституту і досліджуючи мартенситні перетворення у марганцевих сталях, він виявив несподівану для сплавів шарувату фазу, в елементарній комірці якої було 18 щільно упакованих атомних площин. Стаття про це опублікована в Доповідях АН. За декілька місяців японські дослідники Нішіяма і Кадживара підтвердили цей результат, що дало поштовх для ширших структурних досліджень подібних ґраток.

Виявлені у металах і сплавах структурні фази Б. Николин назвав мартенситними політипами. Справедливо було б назвати ці структури і це явище *мартенситним політипизмом Б. Николина*.

У монографії Б. Николина описані структури мартенситних фаз, в елементарних комірках яких є понад 100 ідентичних щільно упакованих площин. Там вміщено виразні фотографії, на яких видно особливості дифракційної картини структур з багатошаровими ґратками як на рентгенограмах, так і на електроннограмах монокристалів та полікристалів зразків. Це поки що єдина у світовій науковій літературі монографія, де чітко сформульовані принципи (умови) утворення фаз Б. Николина.

Політипичні структури Б. Николина – це мартенситні політипи, що виникають у нерівноважних умовах при бездифузному мартенситному перетворенні, тобто способом зміщення атомних площин при низьких температурах (значно нижчих від точок плавлення, $T < 0,4T_m$) і є характерними для такого типу перетворень у металах і сплавах.

Мартенситне перетворення або мартенситний фазовий перехід – це фазовий перехід першого роду, в результаті якого формується мартенситна фаза. Фізичний механізм мартенситного перетворення ґрунтовно досліджував Г. Курдюмов. Б. Николин належав до наукової школи Курдюмова і пишався цим.

Мартенситні перетворення вперше були виявлені та вивчені у сталях, себто сплавах заліза й вуглецю (до 2% C), пізніше у чистих металах (Co, Li, Ti, Zr), металевих сплавах (Cu-Al, Ag-Cd, Ni-

Ti), деяких мінералах і органічних кристалах. Як відомо, саме мартенситним перетворенням здійснюється гартування сталі, в результаті чого вона набуває високої міцності і твердості. Мартенситні перетворення є в основі таких явищ, як ефект пам'яті форми і явище надпружності. Отже, політипи Николина є не що інше, як мартенситні фази у металах і сплавах.

Термопружні мартенситні перетворення в металічних сплавах в останнє десятиріччя привернули до себе увагу у зв'язку з новими перспективами їхніх застосувань у техніці й, особливо, в ортопедичній. Про що йдеться?

Як показали дослідження, сплав, у якому відбувся термопружний мартенситний перехід, має здатність зворотньо пластично деформуватися та відновлювати вихідну (до деформації) форму. Це явище, яке назвали ефектом пам'яті форми, нині застосовується у космічній техніці, у створенні цікавих технічних пристроїв і особливо у медицині (ортопедії). Такі сплави відносять до т. зв. „розумних” (*smart*) функціональних матеріалів, оскільки вони дають змогу програмувати їхню поведінку.

Зазначмо, що мартенситно-зсувні структурні перетворення є одним із специфічних типів фазових перетворень у твердих тілах. Чи вписуються такі фазові переходи у звичні термодинамічні моделі структурних перетворень ґраток? Як з'ясувалося, ці перетворення можна класифікувати як розмиті мартенситні фазові переходи.

На семінарі була заслухана доповідь „Дослідження Б. Николина в галузі кристалофізики металів і сплавів” та розповідь І. Николина (брата вченого) про життєвий і творчий шлях проф. Б. Николина. Шанобливе слово про вченого сказав декан фізичного факультету ЛНУ імені Івана Франка проф. Йосип Стахіра. Зі спогадами про студентські роки, про нелегкі, але незабутні творчі будні виступили однокурсники і друзі вченого, його син Ігор, сестра Оксана та брат Ігор.

Директор Олексицької школи (Стрийського району) п. Андрій Сичак висловив щиру вдячність організаторам семінару і повідомив, що у фізичному кабінеті школи обладнується меморіальний куток пам'яті проф. Б. Николина.

Особистість Богдана Николина, його нелегке життя і самовіддана наукова творчість є і буде добрим взірцем для молодих науковців.

Ярослав ДОВГІЙ,
професор Львівського національного
університету імені Івана Франка

Чому українська наука ще живе?

(Із доповіді Першого заступника міністра освіти і науки України Ярослава Яцкова на колегії Міністерства освіти і науки, 27 березня 2001р., м. Київ)

Реаліями розвитку сучасної світової цивілізації є формування нового типу суспільства, що ґрунтується на знаннях та інформації. Стале економічне піднесення будь-якої держави можливе тільки за умови належного розвитку науки, технологій та інновацій. Інтелектуальний потенціал є головним чинником гармонійного розвитку людини та підвищення її добробуту.

Цього року Україна відзначатиме 10-ту річницю своєї незалежності. Незважаючи на всілякі негаразди сьогодення, ми усвідомлюємо, який важливий крок зробила наша держава у розвитку політичних, суспільних, культурних та економічних відносин. Однак Україна й досі ще не запровадила практики довготермінового планування її економічного розвитку, не розробила узгодженої на всіх рівнях стратегії суспільної трансформації. Водночас ми маємо для цього належний виробничий та інтелектуальний потенціал, здобутки світового рівня в деяких галузях промисловості, у фундаментальній і прикладній науці, а культурна сфера якої спирається на тисячолітні традиції нашого народу.

Виникає запитання – чому стан організації науки і освіти в Україні незадовільний з погляду впливу на процеси суспільної трансформації? Чи можливо виправити це становище?

На наш погляд, можливо, якщо виходити з таких принципів:

1. Основна мета українського суспільства – підвищення освітнього, культурного й економічного рівня держави і добробуту її громадян через впровадження інноваційних культурно-освітніх технологій та наукоємних виробництв.

2. Шлях до досягнення такої мети – перехід до концепції суспільства, яке навчається – від дитячого закладу, школи, університету до вищих ешелонів влади.

Науково-технологічна галузь залишається в Україні однією з найконсервативніших. Фундаментальна наука – це нові знання про живу та неживу природу. Прикладна наука – це нові матеріали, технології, ідеї, моделі тощо. Розроблення і впровадження – це знання, застосовані в економіці країни, шлях до економічного зростання суспільства. І тільки за цього замкнутого циклу можна сподіватися на успіх.

На відміну від колишнього СРСР, Україна не має змоги підтримувати всі напрями фундаментальної та прикладної науки у їхньому замкнутому циклі. Шлях України – міжнародна кооперація у фундаментальній науці, точкова підтримка перспективних на внутрішньому та зовнішньому ринках прикладних досліджень та розробок, підтримка проривних критичних технологій загальносвітового рівня.

Наукові кадри. Науково-технічною діяльністю наприкінці 2000 р. займалися майже 193 тис. працівників у 1,5 тис. наукових організаціях. Загалом упродовж останнього десятиріччя загальна чисельність працівників наукових організацій країни скоротилася більше, ніж удвічі. Найсуттєвіше скорочення науковців відбулося в галузевому та освітянському секторах науки – у 2,5 раза, найменше – в академічному (1,7).

Відповідно сталою є чисельність науковців вищої кваліфікації – докторів і кандидатів наук, питома вага яких серед загалу виконавців наукових досліджень і розробок становить нині майже 29%. Загалом у різних галузях економіки працює майже 70 тис. науковців вищої кваліфікації, 70% яких беруть безпосередню участь у науково-технічній діяльності. Це, безумовно, позитивний чинник, але рівень підготовки докторів наук викликає занепокоєння.

Із загалу докторів і кандидатів наук, зайнятих науково-технічною діяльністю, понад половина (54%) працює у вищих навчальних закладах, майже третина (28%) – в академічних інститутах, решта (18%) – у галузевих та заводських наукових організаціях.

Головною проблемою сьогодні є оновлення наукових кадрів. За оцінками аналітиків, в Україні найбільша „нестача” науковців існує у віковій групі від 30 до 50 років, оскільки саме ці фахівці активно залишали науку в останнє десятиріччя. Тому найближчим часом наукова сфера України відчує нову кризу – демографічну, оскільки середній вік доктора наук – майже 60 років, а кандидата наук – перевищує 51 рік. Серед загалу науковців з ученими ступенями, які беруть участь у наукових дослідженнях і розробках, частка таких до 40 років становить в Україні лише 16%, пенсійного віку – 25%. Вікова структура докторів наук ще гірша: до 40 років – 3%, пенсійного віку – майже 40%.

Прихід молоді в науку майже припинився, а процеси еміграції фахівців вищої кваліфікації набувають все більшого масштабу. Впродовж лише 1996–2000-х рр. Україну залишив 851 спеціаліст з науковим ступенем. Водночас серед загалу науковців, що емігрували 2000 р., майже дві третини – спеціалісти у віці до 50 років: 29,8% – до 40 років, 34,4% – 41–50 років. Це не просто втрата спеціалістів, це – втрата людей найпродуктивнішого віку, які виявляють високу творчу активність. Така ситуація загрожує втратою критичної маси знань, патентів, потенційних розробок, які доведеться купувати в майбутньому. Тому нам потрібні рішучі дії в цьому напрямі.

Деякі позитивні зрушення вже відбуваються у нашій державі. Гарантовано стабільний розмір стипендій аспірантам, засновано щорічні стипендії Президента України і Національної академії наук молодим ученим,

прийнято постанови про пенсійне забезпечення вчених, підтримку науковців оборонно-промислового комплексу. Розширюється діяльність окремих міжнародних організацій та фондів (ІНТАС, Інко-Копернікус, УНТЦ, Інституту відкритого суспільства, INTERTOOL та ін.), програм співпраці з багатьма країнами світу.

Однією із реальних можливостей поліпшення демографічної ситуації у нашій науці може бути розширення зв'язків з нашими вченими, які працюють за кордоном, активніше залучення їх до науково-освітнього процесу в Україні. Про низку прикладів успішних наукових контактів свідчать спільні публікації у наукових журналах з проблем фізики, хімії, біології та біохімії, з економічних і суспільних наук. Такі контакти сприяють підтриманню наукових досліджень у нашій країні, але вони є тільки в тих установах, де існували і деякою мірою збереглися передові наукові школи. Цей позитивний досвід заслуговує на ретельне вивчення та підтримку державними органами. За ініціативи Міністерства освіти і науки вже виконується відповідний проєкт, а саме створюється база даних про українських науковців, які працюють нині за кордоном.

Матеріально-технічна база. Наукові установи мають чимало проблем з утриманням на належному рівні матеріально-технічної бази, майже відсутні можливості її подальшого розвитку з урахуванням останніх досягнень світової науки і техніки. Власні основні фонди мали 91,8% наукових організацій, для здійснення науково-технічної діяльності – 66,1%. Найменш забезпечені власними приміщеннями були наукові організації заводського (55%) та освітянського (27%) секторів науки. 60% від загальної вартості основних фондів науково-технологічної сфери припадає на галузевий сектор науки, третина – на академічний.

Особливо негативно впливає нестача матеріально-технічної бази у таких наукових галузях, як технічні науки, природничі, сільськогосподарські науки, будівництво і медичні науки. За останні 5–7 років машини та устаткування наукових установ цих галузей майже не оновлювалися, що спричинило зниження технологічного рівня результатів досліджень та наукових розробок.

Для збереження унікального науково-технічного обладнання наукових та науково-виробничих організацій, що не піддається відтворенню, втрата або руйнування якого матиме серйозні негативні наслідки для розвитку науки та суспільства було створено нову інституцію – систему наукових об'єктів, які становлять національне надбання.

Фінансування. Стан фінансового забезпечення науково-технічної та інноваційної діяльності в Україні впродовж останніх десяти років постійно погіршується як через зменшення державних витрат, так і через скорочення недержавних замовлень на виконання наукових досліджень і розробок. Загальне фінансування науки, як частка ВВП, упродовж 1992–2000-х рр. зменшилося

в 1,6 раза і становить нині за обсягом майже 1,8 млрд. грн. Реальне зменшення було в десять разів більше. Водночас відбулися деякі зміни у розподілі основних джерел фінансування науки, насамперед через майже подвійне зменшення частки державного фінансування. Серед недержавних джерел фінансування слід відзначити деяке зростання частки українських замовників, подвійне – іноземних коштів, інших надходжень.

Одним з головних чинників іноземних коштів, що впливає на їхнє зростання, є науково-дослідні та дослідницько-конструкторські послуги у зовнішньоекономічній діяльності України, обсяги експортування. Набувають вагомості обсяги коштів із джерел інших надходжень, складовою частиною яких є продаж ліцензій науковими організаціями на об'єкти інтелектуальної власності.

Законодавча база. На державному рівні здійснено низку важливих заходів щодо зміни державної науково-технічної політики. Верховна Рада схвалила нову Концепцію науково-технологічного та інноваційного розвитку України, яка передбачає активнішу позицію держави у розвитку науково-технологічної сфери, використання нових знань в економіці та інших сферах. Прийняті доповнення до Закону України „Про наукову та науково-технічну діяльність”, за якими суттєво підвищена пенсія науковцям. Відповідним указом Президента України 1 лютого 2001 р. підвищено рівень заробітної плати окремим категоріям ученим. Прийнято низку законодавчих актів про інтелектуальну власність, відбулося приєднання України до відповідних міжнародних угод у цій сфері, розробляється державна програма захисту та використання інтелектуальної власності до 2004 р.

Упродовж 2000 – на початку 2001-го р. розроблено низку проєктів законодавчих актів, які на цей час узгоджуються або передані до Кабінету Міністрів та Верховної Ради України. Зокрема це проєкти Законів „Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки України”, „Про державну систему біобезпеки під час здійснення генетично-інженерної діяльності”, „Про інноваційну діяльність”, „Про внесення змін до Закону України „Про прибутковий податок громадян”, „Про внесення змін до Закону України „Про інформацію”, „Про внесення змін до Закону України „Про державну таємницю”. Президент України підписав Розпорядження „Про призначення державних стипендій видатним діячам науки” (95 особам) та „Про призначення довічних державних стипендій видатним діячам науки” (46 особам). Підготовлено низку проєктів постанов Уряду з питань науково-технічної та інноваційної діяльності, міжнародної науково-технічної співпраці, проблем охорони інтелектуальної власності.

В умовах здійснення економічних реформ найвразливішою є гуманітарна сфера – освіта, наука і освіта.

Чому українська наука ще живе?

Очевидно, що:

1. Надії, що національний приватний капітал підтримуватиме науку, виявилися марними.
2. Економіка держави досі ще не виступила генератором потреб в інноваціях.
3. Роль міжнародних фондів не можна применшувати, коли йдеться про виживання науковців у 90-ті роки ХХ сторіччя, але не вони визначали життєздатність української науки.

Важливими були такі два традиційні чинники:

1. Боротьба керівництва найвпливовіших наукових відомств та установ за бюджетні асигнування на науку.
2. Інертність державного апарату, який вважає, що наука державі для чогось знадобиться, хоча її розвиток справа – другорядна.

А головними чинниками української науки були – довготерпіння великої кількості вчених і їхнє справжнє „подвижництво” заради улюбленої справи та інтеграція української науки у світове співтовариство.

Наука, як і багато іншого в нашій державі, виживає завдяки безмежній експлуатації моральних та фізичних сил народу.

І що ж далі? „Подвижництво” старшого покоління вчених природно зупиниться, а молоде – його не підхопить через звичайні побутові проблеми. Вихід один – докорінна реформа науково-технологічної галузі на всіх рівнях влади, яка має відбутися впродовж 2001–2004 рр.

Міністерство освіти і науки у сфері наукової, науково-технічної, інноваційної діяльності та інтелектуальної власності спрямовувало свою діяльність у таких напрямках:

- підготовка законодавчих актів;
- завершення фінансування та підсумки виконання державних науково-технічних програм;
- завершення проєктів Державного фонду фундаментальних досліджень;
- запровадження нових форм інноваційної діяльності та трансферу технологій;
- інтеграція освіти і науки;
- розвиток міжнародної науково-технічної співпраці;
- підвищення престижу наукової діяльності та статусу науковців.

2000 р. став найуспішнішим у сфері державної підтримки науково-технологічної галузі. Створені за ініціативи Б. Патона та В. Семиноженка та участі МОН інноваційні структури – технопарки, зокрема „Напівпровідникові технології і матеріали, оптоелектроніка та сенсорна техніка”, „Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона” (м. Київ), „Інститут монокристалів” (м. Харків), діяльність яких спрямована на виробниче впровадження наукоємних розробок, високих технологій та конкурентоспроможної на світових ринках продукції.

Уперше за десятиріччя новітньої історії України завершено та профінансовано в повному обсязі проєкти державного фонду фундаментальних досліджень, повністю профінансовано 2000 р. проєкти державних

науково-технічних програм з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, розпочато погашення заборгованості їхнім виконавцям за попередні роки. Відбувається еволюційна інтеграція України в світову наукову систему, а зі створенням Міністерства освіти і науки почалися реальні заходи інтеграційного процесу наукової і освітньої сфер України.

Суттєві позитивні зміни відбулися у сфері соціогуманітарних досліджень, розвинулись такі важливі для незалежної держави наукові напрями, як соціологія, політологія, культурологія, археологія, релігієзнавство. Важливими чинниками позитивного розвитку науки у вищій школі стали підтримка передових наукових шкіл, наприклад, у Київському національному університеті, зростання обсягів господарчо-договірної тематики, зокрема у Національному технічному університеті України „Київський політехнічний інститут” та Національному технічному університеті „Харківський політехнічний інститут” та інших. Міністерство з 2000 р. забезпечило належне функціонування наукових об’єктів, які становлять національне надбання. Як результат цієї системи, після виконання впродовж 2000 р. комплексу робіт на науковому об’єкті „Експериментальна база дослідно-випробувального полігону НДПКІ „Молнія” Харківського державного політехнічного університету”, його було занесено до світового реєстру унікального випробувального обладнання.

Загальні причини незадовільного стану розвитку науки і освіти в Україні полягають у тому, що:

- основні рушійні сили радянського способу організації науково-технічної діяльності зникли, проте форми та інституції, які забезпечували саме такий спосіб організації науки та освіти, залишилися;
- наука та освіта в Україні сприймаються як окремі галузі народного господарства. Ця сфера ні на рівні державної політики, ні на рівні програм економічного розвитку не узгоджується з розвитком суспільства загалом.

Про реформування науково-технологічної сфери.

Проблеми реформування науки та її організаційної структури актуальні для всіх країн, які мають науково-технологічний потенціал. Україна не виняток, спроби реформувати науку здійснювалися в нашій країні неодноразово. Однак усі вони виявилися марними. Можливо й тому, що реорганізація органів державної влади, які управляли науково-технічною сферою, проводилася так часто, що новостворені міністерства та комітети не встигали розпочати стратегічне реформування власне науки, вони за формою ставали відлунням оголошеного в державі курсу на демократизацію, розвиток ринкових відносин та інтеграцію до світової спільноти.

Як не згадати пророчі слова нашого славетного співвітчизника В. Вернадського: „Завданням часу є не державна організація науки, а державна допомога науковій творчості нації”.

Для держави не повинно бути різниці у тому, державна чи приватна інституція розв’язує ту, чи іншу актуальну проблему, для неї головним повинно бути те, щоб ця проблема була розв’язана.

Суспільні трансформації та наукова сфера

1. Перехід в управлінні державою від централізованого розподілу до прийняття політичних рішень згідно зі стратегічними цілями держави з урахуванням інтересів різних суспільних груп. Для наукової сфери це означає аналітичне забезпечення політичних процесів, на відміну від теоретичного обґрунтування ідеологічно детермінованих рішень.

2. З'являються нові учасники процесу освітньої та науково-технічної політики такі, як приватні корпорації, незалежні дослідницькі центри, підприємці, університети тощо. Для наукової сфери це означає необхідність визначити інтереси та диференціювати критерії оцінки їхньої діяльності, умови фінансування тощо.

3. Відбувається демократизація та становлення громадянського суспільства, що означає прозорість політичного процесу, участь громадськості у прийнятті рішень. Для наукової сфери це означає, що в умовах перехідного періоду реальна обмеженість ресурсів вимагає впровадження прозорих процедур використання бюджетних коштів та контролю за результатами політики.

4. Відбувається становлення ринків інтелектуальної власності, продуктів і послуг науково-дослідної, освітньої та науково-технічної діяльності. Для наукової сфери це означає використання конкуренції як важливого механізму управління науково-технічною діяльністю та освітою.

5. Розгортаються процеси світової інтеграції України, що створює ситуацію міжнародної конкуренції і партнерства.

Отже, сьогодні нагальне завдання – розробити таку державну політику яка б адекватно реагувала на важливі зміни у суспільстві та ґрунтувалася на кадровому потенціалі та матеріально-технічному забезпеченні науково-технічної галузі.

Проблеми популяризації науки та інформаційного забезпечення науково-технічної діяльності. Повноцінний розвиток суспільства неможливий без систематичної популяризації знань, особливо у сфері науки та освіти. Прогалини, які між базовим рівнем освіти в школах і вищих навчальних закладах та новітніми науковими досягненнями не заповнюються науково-популярними виданнями, адаптованими до сприйняття широким загалом суспільства. Міністерство 2000 р. підтримало науково-популярні журнали через передплату. Фонд фундаментальних досліджень передплатив майже 10 найменувань наукових і освітянських періодичних журнальних видань, передбачено їх безкоштовне надання бібліотекам дослідницьких інституцій, вищих навчальних закладів. Підготовлено фільми серії „Золоті імена науки України”.

Подальший розвиток інформаційного забезпечення слід гармонізувати з новими технологічними можливостями, які надають технології Інтернету. Це, зокрема, організація вільного доступу до відкритих інформаційних ресурсів у сфері наукової, науково-технічної,

інноваційної діяльності та інтелектуальної власності; інтеграція України в систему світових, наукових та громадських мереж тощо.

Реформування системи охорони інтелектуальної власності. Загальний стан винахідницької діяльності, правової охорони винаходів та інших об'єктів промислової власності в Україні критичний. Упродовж 1990-х років кількість винахідників та раціоналізаторів в Україні зменшилась у 20 разів і становить нині майже 44 тис. осіб. Щорічно зростала кількість промислових підприємств і наукових організацій, в яких повністю припинялася винахідницька та раціоналізаторська діяльність. Одними з головних, з огляду на динамічність економічних перетворень, є проблеми захисту та використання інтелектуальної власності.

Інші проблемні питання. Оплата праці науково-технічної діяльності в Україні давно відстала від реального життя. Існує дилема економічна: на одиницю грошових витрат українські науковці виробляють науково-технічної продукції вдвічі більше, ніж у розвинених країнах, з іншого боку, рівень їхньої середньої заробітної плати нижчий за межу малозабезпеченості у країні.

Стратегічні напрями формування державної науково-технічної політики. Слід зазначити, що процеси ринкових перетворень в економіці, зміни форм власності ще не мають належного позитивного впливу на розвиток науково-технологічної сфери. У цих умовах держава має взяти на себе відповідальність за стан та перспективу розвитку науково-технологічної сфери як основи економічного зростання, її роль має бути вирішальною у створенні сприятливого інвестиційного клімату для залучення інвестицій в наукові дослідження та науково-дослідні розробки, впровадження інновацій в економіку.

Практична реалізація цих та інших державних заходів означає, що наукова система України нарешті вступає в новий етап своєї трансформації – етап цілеспрямованих та регульованих якісних змін наукової та інноваційної систем.

Визначальними серед них є такі:

1. Перехід від політики збереження до відновлення наукового потенціалу у сфері фундаментальних досліджень, зокрема всесвітньо визнаних наукових шкіл.

2. Перехід від політики пасивного спостереження до активного виборювання передових позицій у світі на підставі нових відкриттів, впровадженні „ноу-гау”, наукових ідей через підтримання відповідних прикладних досліджень і розробок, промислових наукоємних новацій.

3. Перехід від моделі „витратної науки” до реальної комерціалізації наукових знань. Визнання інтелектуальної власності як основи реального зростання економіки дасть змогу перейти від суто споживання до продажу продуктів інтелектуальної праці, ввести в господарчий обіг об'єкти інтелектуальної власності, створити підґрунтя сталого розвитку держави у XXI сторіччі.

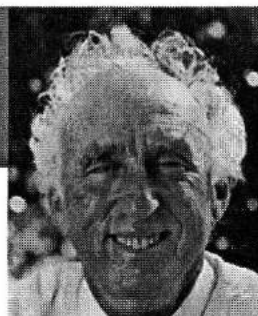


Шведська Королівська Академія Наук присудила Нобелівську премію з фізики 1995 року за піонерські експериментальні дослідження у фізиці лептонів – Мартінові Перлу (Martin L. Perl) (Стенфордський університет, США) за відкриття τ -лептона та Фредерікові Рейнсу (Frederick Reines) (Каліфорнійський університет, США) за детектування нейтрино. Цією нагородою відзначено вчених, які експериментально довели існування двох нових субатомних частинок, які належать до класу лептонів.

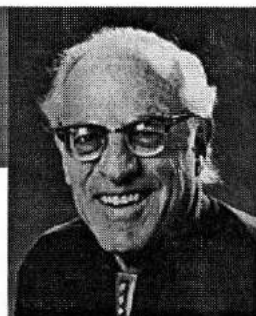
НОБЕЛІВСЬКІ ЛАУРЕАТИ

1995

Відкриття у фізиці лептонів



Мартін Перл



Фредерік Рейнс

Упродовж усієї історії розвитку природничих наук учені спочатку гіпотетично, а пізніше, опираючись на експериментальні результати, шукали „цеглинки” матерії, тобто неподільні елементарні частинки, з яких побудований весь матеріальний світ. На ранньому етапі розвитку науки в цій ролі виступали атоми, однак їхня велика різноманітність спонукала шукати „ще елементарніші частинки”. З’явилась гіпотеза Проута, що атоми всіх елементів побудовані з атомів водню, а відкриття електрона на зламі XIX–XX сторіч уже експериментально спростувало уявлення про атом як елементарну частинку.

З відкриттям нейтрона і протонно-нейтронного складу ядер за елементарні частинки були визнані електрони, протони та нейтрони. Однак такі погляди існували не довго. Вчені відкривали все нові й нові елементарні частинки, з’ясували неелементарність (наявність структури) протонів та нейтронів. З’явилась гіпотеза про кварки, за якою з кварків можуть бути побудовані нуклони. Нуклони ж утворюють ядра, а ядра з електронами – атоми, атоми – хімічні елементи, що реалізують всю різноманітність матеріального світу. Тобто з погляду сучасної науки, справді елементарними є лише лептони, кварки, калібрувальні бозони та гіпотетично важливий клас частинок – хігівські бозони. Але чи це справді так?

Існує багато теорій, за якими кварки, а також лептони, вважаються „складеними” із ще елементарніших гіпотетичних об’єктів – преонів. Оскільки сьогодні відсутнє будь-яке експериментальне обґрунтування цих радикальних поглядів, а в теоретичному плані ці моделі далекі від досконалості, то відповідь на це запитання ще є ствердна.

Нобелівські лавреати 1995 року зробили вагомий внесок у вивчення лептонів та їх класифікацію. До цього класу елементарних частинок належить як заряджені частинки, електрони, мюони, τ -лептоли і відповідні їм античастинки та нейтральні частинки – електронне-, мюонне-, τ -нейтрино та відповідні антинейтрино. Ці частинки утворюють дуплети, кожний з яких складається із зарядженого та нейтрального лептона.

Як же відкрили τ -лептон? Зі шкільної лави знаємо, що 1897 року Дж. Томсон виявив електрон у катодних променях. Знаємо також, що, досліджуючи космічні промені за допомогою камери Вільсона, 1937 року була знайдена частинка з зарядом як в електрона та з масою, проміжною між масою електрона і протона, яку назвали мюоном. І мало хто знає, що лише 1975 року завдяки великим зусиллям учених знайдено третю частинку з зарядом як в електрона і ще більшої маси. Це і був τ -лептон. Пошуки цих заряджених частинок розпочались у 60-х роках XX сторіччя. Одна концепція



пошуку передбачала знайти їх під час розпаду інших частинок, наприклад, каонів. Інша – передбачала отримання їх у прискорювачах при зіткненні електронів з мішенню.

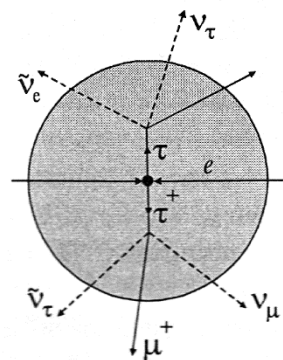
Майбутній Нобелівський лавреат Мартін Перл був членом дослідницького колективу, що розпочав пошук нових лептонів у Стенфордському прискорювальному центрі (СЛАК) наприкінці 1960-х років.

Мартін Перл походить із сім'ї емігрантів, які 1900 року прибули до США з Польщі й поселились у Нью-Йорку. Там, у Брукліні, Мартін закінчив середню школу, і як згодом він оцінював – добру школу, яка багато дала йому як майбутньому експериментаторові. У школі він багато читав, читав усе, що знаходив у бібліотеці, захоплювався математикою, фізикою, хімією. Закінчивши середню школу з відзнакою з фізики, але не побачивши перспектив професії фізика, він вирішив вступити до Політехнічного інституту у Брукліні, щоб стати інженером з конструювання хімічної техніки. Його навчання було перерване Другою світовою війною, після закінчення якої він повернувся до інституту і 1948 року отримав ступінь бакалавра. М. Перл влаштувався на роботу в компанію Дженерал Електрикс у відділення, яке виготовляло електронно-вакуумні прилади, і зайнявся проблемами виробництва кінескопів та створення ефективних термокатодів для потужних електронно-променевих гармат. Наукові і технічні проблеми в цій галузі техніки, які повністю не розв'язані й донині, підштовхнули М. Перла поглибити свої знання з емісійної електроніки. Він вступив до коледжу, де одного дня від свого професора фізики Володимира Рожанського почув: „Мартіне, те, чим Ви цікавитесь, називається фізикою, а не хімією!” І у 23-річному віці М. Перл вирішив вивчати фізику!

Восени 1950 року М. Перл вступив на докторську програму до Колумбійського університету, де розпочав наукові дослідження під керівництвом Нобелівського лавреата з фізики 1944 року І. Рабі. У цьому ж науковому колективі працював і Нобелівський лавреат 1955 року Полікарп Куш. І. Рабі, який завжди наголошував на значенні праці над фундаментальними проблемами, скерував М. Перла після отримання докторського ступеня в фізику елементарних частинок. М. Перл завжди був вдячний І. Рабі за велику експериментальну та життєву науку, яку він пройшов у нього.

1973 року в Стенфордському прискорювальному центрі запрацював електрон-позитронний колайдер. Цей інструмент давав змогу М. Перлу та його колегам продовжувати пошуки нового лептона на якісно вищому експериментальному рівні. І вже через рік учені отримали перші обнадійливі результати. Ще рік пішов на те, аби переконатись, що справді відкрито новий лептон. Цей лептон позначили літерою τ , яка є першою літерою в слові *triton* – третій.

В експериментах, які здійснив М. Перл зі своїми колегами, реєструвались лобові зіткнення між електронами та їхніми античастинками (позитронами) за допомогою детектора, який охоплював область зіткнень і розміщався в магнетному полі. Вчені застосували комбінований детектор із рідинного сцинтилятора та декількох пропорційних іскрових камер. Вони зареєстрували 24 події, в яких під час зіткнень електрона та позитрона народжувались мюони і позитрони або антимюони й електрони. Ці частинки реєстрували детектори. Однак, провівши аналіз енергетичних перетворень, М. Перл з колегами прийшли до висновку, що в цих дослідах утворювались важкі лептони



(τ -лептони). Ці важкі лептони розпадались на віддалі майже міліметр від точки зіткнень і тому не були зареєстровані безпосередньо детектором.

Схема цих перетворень така:

$$e + e^+ \rightarrow \tau + \tau^+,$$

$$\tau \rightarrow e(\text{або мюон}) + \text{нейтрино}$$

$$\tau^+ \rightarrow e^+(\text{або антимюон}) + \text{нейтрино}.$$

Після відкриття τ -частинки М. Перл відразу ж передбачив існування τ -нейтрино.



Нейтрино, що народжувались у процесі таких реакцій, не були зареєстровані, враховуючи їхню надзвичайно малу ймовірність взаємодії з речовиною.

Про відкриття нейтрино, а саме мюонного та τ -нейтрино читайте в журналі „Світ фізики” (1999. № 3; 2000. № 2 та 2001. № 1), а в цій статті коротко пригадаймо історію „народження” цієї дивовижної частинки, що теж належить до класу лептонів.

Її передбачив 1930 року В. Паулі. На той час було відомо, що багато атомних ядер зазнають β -розпаду, випромінюючи електрон. Це явище завдало чимало клопоту фізикам, адже в експериментах з β -розпаду здавалось би не справджується закон збереження енергії – один з фундаментальних законів фізики.

На початкових стадіях дослідження β -розпаду вважалось, що спостережувані неперервні β -спектри, зумовлені процесами втрати енергії електронами, що випромінюються з ядра, при їх взаємодії з електронними оболонками атомів, тобто вважалось, що при виході з ядра всі β -частинки мають однакову енергію.

1927 року провели перший калориметричний експеримент, в якому враховувалась вся енергія електронів при β -розпаді ${}_{83}\text{Bi}^{210}$. Вона, як з’ясувалось, у перерахунку на одну частинку відповідала середній енергії β -спектра ${}_{83}\text{Bi}^{210}$ – 0,33 МеВ, а не максимальній – 1,2 МеВ. Пізніше ці висновки підтвердили ще точніші експерименти і переконливо довели, що неперервність β -спектра має первинне походження.

Парадокс β -розпаду, пов’язаний із законом збереження енергії, доповнювався і тим, що, на перший погляд, теж не зберігався момент кількості руху. Адже ядра з непарною кількістю нуклонів мають напівцілий спін, у той час, як ядра з парною кількістю нуклонів – цілий спін. Під час β -розпаду не змінюється атомна маса ядра, тому слід припустити, що не змінюється і момент кількості руху ядра, або змінюється на величину, кратну \hbar . Водночас електрон або позитрон виносить з ядра момент, який дорівнює $\hbar/2$.

В. Паулі у цій ситуації запропонував, що при β -розпаді утворюється нейтральна частинка малої маси, яка має півцілий спін, дуже слабо взаємодіє

з речовиною, не вловлюється під час експерименту і виносить енергію, дефіцит якої так турбував учених. В. Паулі, ввівши у фізику поняття про нейтрино, напевно і не думав, що її коли-небудь зареєструють, адже, щоб обов’язково зупинити нейтрино, потрібна стінка завтовшки декілька світлових років!

Сама ж гіпотеза про нейтрино швидко знайшла визнання серед фізиків. 1934 року Е. Фермі, використовуючи цю гіпотезу, створив теорію β -розпаду, яка зберегла своє значення і донині. Однак експериментальних підтверджень існування нейтрино довелось чекати майже 30 років. Це тривалий час, враховуючи бурхливий розвиток ядерної фізики і велику кількість експериментів, покликаних дати відповідь на запитання – чи справді існує нейтрино?

Ще 1935 року Наміас у Кембриджі, використовуючи надзвичайно потужні на той час β -радіоактивні препарати, спробував виявити нейтрино за його йонізуючою дією. 1947 року Уоллан повторив ці експерименти на ядерному реакторі, але й у його дослідах результат був невтішним, незважаючи на те, що кількість β -розпадів була в сотні мільярдів разів більша, ніж у дослідах Наміаса.

У 1940–1950 рр., зважаючи на розвиток техніки детектування малої ймовірних ядерних процесів, а також на можливість використовувати потужні потоки антинейтрино поблизу ядерних реакторів, учені, а серед них і Ф. Рейнс, знову розпочали „полювання” за нейтрино.

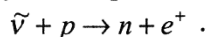
Ф. Рейнс народився 1918 року в м. Петерсон (штат Нью Джерсі, США) теж у сім’ї емігрантів. Навчаючись у старших класах середньої школи, він цікавився літературою та науковими дослідженнями. Його нахили до експериментування помітив учитель, який давав йому ключі від лабораторії, де він багато часу працював самостійно. Закінчуючи середню школу, він твердо сформував своє життєве кредо – стати вченим фізиком! До 1939 року Ф. Рейнс навчався в Технологічному інституті, а 1941 року отримав науковий ступінь з математичної фізики і продовжив наукову роботу в Нью-Йоркському університеті. 1944 року почав працювати у Р. Фейнмана у Лос-Аламоській науковій лабораторії, займався дослідженнями наслідків ядерних вибухів, брав участь у випробу-



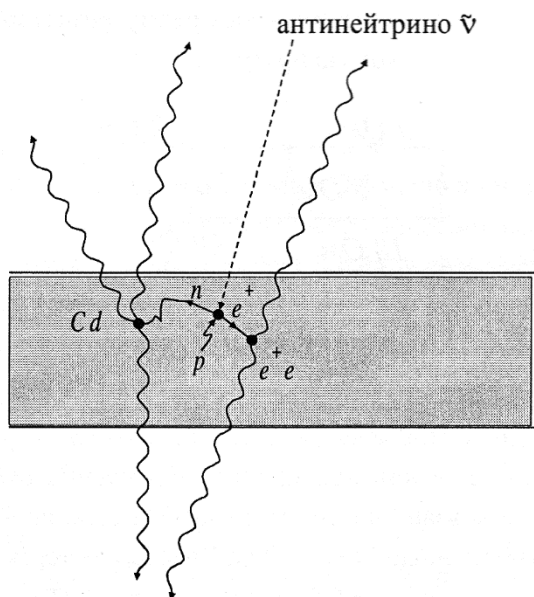
ваннях ядерної зброї. Ідея пошуку невланого нейтрино виникла 1947 року. Спочатку Ф. Рейнс разом з іншим лос-аламоським фізиком Клодом Коуеном розглядав ядерний вибух як джерело нейтрино, але, зваживши на все, вони зрозуміли, що все ж таки зручнішим є ядерний реактор.

1953 року Ф. Рейнс та К. Коуен реалізували перший варіант свого дослідження на ядерному реакторі у Генфорді, який дав хоч і позитивний, але не дуже переконливий результат.

І вже 1956 року переконливі докази існування нейтрино Ф. Рейнс отримав разом з групою співробітників на промисловому реакторі Савана-Рівер. Ідея їхнього дослідження полягала в тому, що в потужний потік антинейтрино поміщали мішень, яка мала велику кількість протонів, з якими антинейтрино, за попередніми теоретичними уявленнями, мали реагувати за реакцією:



Мішень складалась з 400 літрів водного розчину хлориду кадмію і водночас була сцинтилятором. Сама ж мішень містилась між рідинним сцинтиляційним детектором об'ємом майже 10 м³, тобто сцинтиляційний блок складався з трьох шарів. Увесь об'єм сцинтиляторів „проглядали” 500 фотоелектронних помножувачів. Від нейтронів і га-



ма квантів, що теж випромінювались реактором, мішень-сцинтилятор захищалась 1,5 метровим шаром парафіну і 15 сантиметровим шаром свинцю. Однак і такий потужний захист не давав змоги надійно реєструвати продукти шуканої реакції – позитрони і нейтрони. Тому вчені, полюючи на антинейтрино, застосували як нові на той час рідинні сцинтилятори, так і методику часових збігів.

У випадку, коли в середньому шарі відбувалась досліджувана реакція, позитрони майже миттєво анігілюють, зумовлюючи сцинтиляційний спалах у середньому шарі сцинтилятора і народження двох анігіляційних фотонів, які викликають сцинтиляційні спалахи у верхньому та нижньому шарах сцинтилятора. Другий продукт реакції – нейтрон, початкова енергія якого майже 1 МеВ, упродовж декількох мікросекунд сповільнюватиметься і врешті-решт захопить ядром кадмію (кадмій має великий переріз захоплення нейтронів) з випромінюванням каскаду фотонів, які теж зумовлять сцинтиляційні спалахи у всіх трьох шарах сцинтилятора. Спеціальна електронна система реєструвала тільки такі події, коли одночасно відбувались сцинтиляційні спалахи у всіх шарах сцинтилятора і відділені від них декількома мікросекундами, потрібними для сповільнення нейтронів, аналогічні спалахи.

Упродовж майже 1500-годинного експерименту вчені зареєстрували майже 2000 очікуваних реакцій, ймовірність яких з точністю 5% збігалась з теоретичною ймовірністю і в 10 разів перевищувала фон випадкових збігів.

Минуло майже 30 років від появи гіпотези про нейтрино, як американські вчені Фредерік Рейнс та Клод Коуен переконливо підтвердили їхнє існування.

Ф. Рейнс і надалі вивчав нейтрино, брав участь майже в усіх нейтринних експериментах, які проводились у США. Помер учений 1998 року.

Отже, Мартін Перл та Фредерік Рейнс своєму науковому успіхові – Нобелівська премія – можуть завдячувати як своїй експериментальній майстерності, так і тому, що τ-лептон та нейтрино все ж таки існують.

Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук

Теоретичні завдання IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики м. Ужгород, 2001 р.

8-й клас

Задача 1.

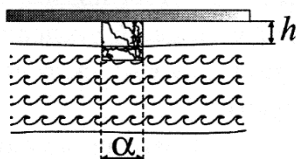
Від пристані А одночасно відправились униз за течією ріки катер і пліт. Катер спустився вниз за течією ріки на 96 км, потім повернув назад і повернувся в А за 14 годин. Визначіть швидкість катера в стоячій воді та швидкість течії ріки, якщо відомо, що катер зустрів пліт на зворотному шляху на відстані 24 км від А.

Задача 2.

У воду, температура якої $t_0 = 90^\circ\text{C}$, кидають розжарені платинові ошурки, маса яких дорівнює масі води. Визначіть початкову температуру ошурок, якщо відомо, що після припинення кипіння рівень води залишився попереднім. Густина платини $\rho_n = 21,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, питома теплоємність платини $c_n = 128 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, питома теплота пароутворення води $\lambda = 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Зміною густини при нагріванні знехтуйте.

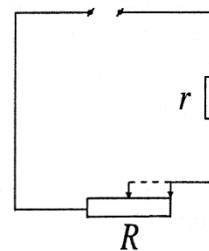
Задача 3.

Куб із пінопласту з ребром $a = 0,5 \text{ м}$, що плив водоймою, виявився затиснутим під дошками низького горизонтального містка (див. рис.). Знайдіть силу тиску на місток та дослідіть її залежність від висоти містка над водою. Побудуйте графік. Густина пінопласту $\rho_n = 60 \text{ кг/м}^3$, густина води $\rho_s = 10^3 \text{ кг/м}^3$.



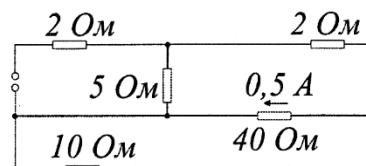
Задача 4.

1. Нагрівник підключений до мережі через реостат (див. рис.). Опір реостата $R = 30 \text{ Ом}$. Якщо опір нагрівника $r = 90 \text{ Ом}$, то при повністю введеному реостаті вода закипає за 8 хв. При якому опорі нагрівника вода закипить через 4 хв, якщо реостат уведено наполовину? Тепловими втратами знехтуйте.



Задача 5.

В електричному колі (див. рис.) відомі опори резисторів і сила струму через один резистор. Знайдіть силу струму через решту резисторів і підведену до кола напругу.



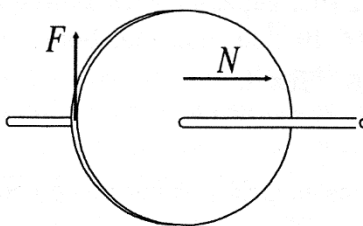
9-й клас

Задача 1.

Людина, стоячи на льоді та залишаючись нерухомою, намагається зрушити з місця масивні санки за прив'язану до них мотузку. Маса санок $M = 100 \text{ кг}$, людини $m = 60 \text{ кг}$. Коефіцієнт тертя санок по льоду $\mu_s = 0,2$, людини $\mu_n = 0,3$. Під яким кутом до горизонту повинна тягнути мотузку людина, щоб зрушити санки?

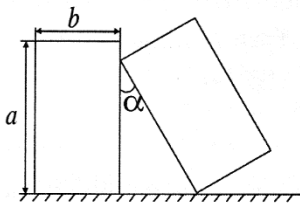
Задача 2.

Маховик радіуса $R = 20$ см насаджено на закріплену вісь радіуса $r = 2$ см. Сила тертя між маховиком і віссю постійна і дорівнює 1000 Н. Для того, щоб легше було зняти маховик з осі, до його ободу прикладають силу $F = 80$ Н, яка створює обертальний момент відносно осі (див. рис.). З якою мінімальною силою N треба тягнути маховик уздовж осі, щоб зняти його?



Задача 3.

За яких значень кута α можлива рівновага однакових брусків у положенні, зображеному на рисунку? Коефіцієнт тертя між брусками і підставкою μ , тертя між брусками мізерно мале.



Задача 4.

Куб із пінопласту з ребром $a = 0,5$ м, що плив водою, виявився затиснутим під дошками низького горизонтального містка. Знайдіть силу тиску на місток та дослідіть її залежність від висоти містка над водою. Побудуйте графік. Густина пінопласту $\rho_n = 60$ кг/м³, густина води

$$\rho_e = 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

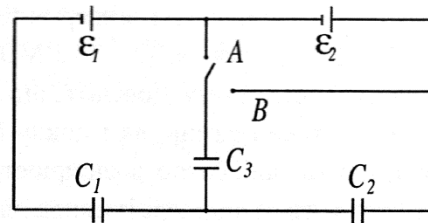
Задача 5.

У кубі, виготовленому з дротини, в одному з ребер тече струм силою I . Визначіть сили струмів у решті ребер куба. Напругу прикладають до протилежних вершин куба.

10-й клас

Задача 1.

За якої умови перемикаання ключа з положення А (див. рис.) у положення В не змінить напругу на конденсаторі ємністю C_1 ?



Задача 2.

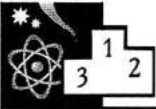
Відомо, що Галілей прийшов до висновку про однаковість для всіх тіл прискорення вільного падіння g , не кидаючи їх із Пізанської вежі, а зауваживши однаковість часу скочування куль по похилій площині незалежно від їхнього розміру і речовини. 1. Доведіть, що це справді так, якщо g однакове. 2. Чи міг би Галілей зробити цей висновок, якби він порівнював час скочування предметів різної форми, наприклад, куль і циліндрів?

Задача 3.

Невелике сферичне тіло масою M , підвішене на невагомій і нерозтяжній нитці завдовжки l , здійснює гармонічні коливання з амплітудою A . У той момент, коли тіло максимально віддалене від положення рівноваги, з точки, яка знаходиться на одній висоті з точкою підвісу на відстані L по горизонталі від неї, вилітає куля масою m під кутом α до горизонту. Траєкторія кулі лежить у площині коливань тіла. З якою швидкістю і під яким кутом мусить вилетіти куля, щоб вона влучила в тіло в той момент, коли воно проходить через положення рівноваги, причому після застрягання кулі в тілі та миттєвого обривання нитки обидва тіла впали б вертикально дотолу? Опором повітря знехтуйте.

Задача 4.

На нижню поверхню горизонтальної діелектричної пластини, що має товщину d і діелектричну проникність ϵ , нанесено провідне покриття. На верхню поверхню поміщено маленьку краплю



ртуті, яка не змочує пластини. Крапля і провідне покриття утворюють конденсатор, до якого під'єднана батарея. За якої напруги батареї крапля почне розпливатись по поверхні пластини? Коефіцієнт поверхневого натягу ртуті σ .

Задача 5.

Для руху ракети використовується енергія від реакції $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$, яка дає $Q = 13,3$ МДж/кг у вигляді теплової енергії газу. Доведіть, що к. к. д. двигуна ракети такий самий, як і циклу Карно. Вважаючи, що газ адіабатно розширюється до атмосферного тиску на виході із сопла двигуна, оцініть к. к. д., якщо в камері двигуна створюється тиск 10 МПа. Знайдіть швидкість газу на виході з сопла. Для H_2O $\gamma = c_p/c_V = 1,25$.

11-й клас

Задача 1.

Відомо, що Галілей прийшов до висновку про однаковість для всіх тіл прискорення вільного падіння g , не кидаючи їх із Пізанської вежі, а зауваживши однаковість часу скочування куль по похилій площині незалежно від їхнього розміру і речовини. 1. Доведіть, що це справді так, якщо g однакове. 2. Чи міг би Галілей зробити цей висновок, якби він порівнював час скочування предметів різної форми, наприклад, куль і циліндрів?

Задача 2.

Математичний маятник має масу m і довжину нитки l .

1. Доведіть, що при малих коливаннях натяг нитки дорівнює

$$T = mg[1 + \theta_0^2/4 - (3/4)\theta_0^2 \cos 2\omega t],$$

де $\omega = \sqrt{g/l}$, θ_0 – максимальний кут відхилення маятника при $t = 0$.

2. Нехай біля точки підвісу діє механізм, який змінює довжину нитки на величину

$$\Delta l = -a \sin 2\omega t, \quad (a \ll l).$$

Знайдіть середню потужність, яку механізм передає маятникові за період $2\pi/\omega$, і закон зміни енер-

гії маятника з часом. Знехтуйте затуханням коливань, зумовленим тертям. При малих кутах

$$\sin \alpha \approx \alpha, \quad \cos \alpha \approx 1 - \alpha^2/2.$$

Задача 3.

Космічна станція отримала невелику пробіну під час зіткнення з постачальним кораблем. Упродовж 8 хвилин тиск у станції змінився від 750 до 675 мм ртутного стовпчика. Оцініть площу дірки, якщо об'єм станції 390 м^3 , температура всередині – 24°C , середня маса молекул повітря $m = 28 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг, постійна Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Задача 4.

Гравітаційна енергія тіла чисельно дорівнює роботі, яка потрібна, щоб речовину тіла розсіяти в нескінченно віддалені точки. Знайдіть її для кулі, що має радіус R і масу M . Вважатимемо, що при стягуванні речовини з нескінченності й утворенні тіла масою M енергія гравітаційного поля перетворюється в енергію спокою цієї маси. Оцініть радіус кулі, що при цьому утворюється (так званого гравітаційного радіуса), якщо $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг (маса Землі). Гравітаційна стала $\gamma = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Нм²/кг².

Задача 5.

Дифракцію електронів на щілині можна розглядати в механістичній моделі як результат дії на них сили з боку краю щілини. Знайдіть, з якою силою діє на одиницю довжини краю щілини потік електронів концентрацією n при їх дифракції на двох щілинах (у цьому випадку електрони розподілені загалом за головними максимумами) залежно від швидкості електронів v . Наскільки зміниться внаслідок дифракції тиск електронів на повністю поглинальний екран за щілинами.

Примітка. Кути дифракції малі, тому $\sin \varphi \approx \varphi$. Врахуйте лише центральний і перші бокові максимуми, на бокові припадає 0,1 падаючого потоку. Ширина щілини b , відстань між краями щілин d . Вважайте, що відхилення електронів ліворуч зумовлене лівим краєм щілин, праворуч – правим краєм.



ЗНОВУ ПОЛУМ'Я СВІЧКИ

Пропонуємо розв'язок задачі „Знову полум'я свічки”, що була на ІХ Всеукраїнському турнірі юних фізиків:

Якщо електроди, які перебувають під досить високою напругою, вмістити в полум'я свічки, то побачимо, як на одному з них починає наростати „шуба”. Чим вона є, чому утворюється і від чого залежить її вигляд?”

Спочатку з'ясуємо, з чого складається свічка, чим є її полум'я, який механізм утворення „шуби”. Це допоможе нам відповісти на запитання “чому вона утворюється і чим вона є” та дасть змогу відповісти на запитання „від чого залежить її вигляд”.

Основними компонентами свічки є багатоатомні вуглеводневі сполуки: пальмітинова кислота ($C_{15}H_{31}COOH$), стеаринова кислота ($C_{17}H_{35}COOH$), парафін (суміш речовин від $C_{19}H_{40}$ до $C_{35}H_{72}$). За нормальних умов ці речовини перебувають в аморфному стані, а при горінні свічки вони нагріваються частково розщеплюються, піднімаються гнотом у зону вищої температури, де продукти розщеплення окиснюються. Температура полум'я – понад $1000^\circ C$, тому виникає конвекційний потік, що забезпечує подачу кисню з повітря. Але цього кисню недостатньо для повного окиснення всіх речовин, тому під час горіння утворюються пари води, CO_2 , CO , сажа – мікроскопічні крупинки вуглецю, які підхоплюються конвекційним потоком (тому в приміщеннях, де часто горять свічки, стеля вкривається кіптявою).

Провівши спектральний аналіз полум'я свічки, ми спостерігали неперервний спектр із посиленням у червоно-жовтій області. Саме такий спектр мають нагріті до високої температури тіла, і це наводить на думку, що саме теплове випромінювання розжарених мікроскопічних часточок вуглецю зумовлює свічення свічки.

Із таких розжарених крупинок вуглецю внаслідок термоелектронної емісії емітуватимуться електрони, а крупинки ставатимуть позитивно зарядженими і на них з боку електричного поля діятиме сила, яка зумовить їхній дрейф у бік від'ємного електрода, на якому вони осідатимуть, утворюючи „шубу”.

Проаналізуємо інші можливі механізми формування „шуби”. Це може бути рух частинок вуглецю під впливом йонного вітру, адже в полум'ї свічки, напевно, є йонізований газ. Оцінімо ступінь йонізації газу в полум'ї свічки, припустивши що енергія йонізації молекул азоту та кисню дорівнює майже 10 еВ за формулою:

$$n_i = n_0 \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right).$$

Оцінене значення концентрації йонізованих молекул дорівнює:

$$n_i \approx 10^{13} \text{ м}^{-3}.$$

Оцінімо середню силу, яка діє на крупинки сажі та йонізований газ в електричному полі. В одному з наших дослідів знайдена швидкість осідання крупинок вуглецю дорівнювала $\sim 0,001 \text{ г/с}$, а швидкість їхнього руху ми оцінили за швидкістю руху полум'я свічки при увімкненні електричного поля – $v \sim 10 \text{ м/с}$. Тоді середня сила, що діяла на крупинки сажі з боку електричного поля дорівнювала:

$$F_c = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{mv_c}{\Delta t} \approx 10^{-5} \text{ Н}.$$

Знайдімо середню силу, що діє з боку електричного поля на йонізований у полум'ї свічки газ у цьому досліді за формулою:

$$F_c = qE = n_i V e E,$$

де V – об'єм полум'я свічки E – напруженість електричного поля ($\sim 10^3 \text{ В/м}$). Оцінене значення середньої сили $\sim 10^{-8} \text{ Н}$.

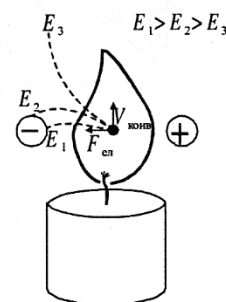


Рис. 1



Зрозуміло, що взаємодія йонного вітру з крупинками „нейтральної” сажі здійснюється завдяки в'язкому тертю, а тому не весь імпульс йонного вітру отримують крупинки сажі. Зроблена оцінка середньої сили, яка діє на крупинки сажі в електричному полі, вказує на те, що вплив йонного вітру на її рух не основний. Це тому, що енергія йонізації молекул газу ~ 10 eV, а робота виходу електронів з твердого тіла ~ 5 eV, а концентрація електронів у твердому тілі більша, ніж концентрація молекул газу в полум'ї свічки.

Отже, „шуба” утворюється тому, що в полум'ї свічки є позитивно заряджені крупинки вуглецю. Які під дією електричного поля дрейфують у напрямку від'ємного електрода й осідають на ньому. Це підтверджено спостереженнями – „шуба” завжди наростає на від'ємному електроді.

„Шуба” – це здебільшого аморфний вуглець, він має дуже розчленовану структуру (подібну до мікроскопічних хвойних дерев). Із ростом „шуби” вона стає дедалі пухнастішою. Ця вуглецева структура є добрим адсорбентом, тому в ній адсорбуватимуться продукти, що знаходяться у повітрі, а це переважно O_2, N_2, CO_2, CO тощо.

Експериментально ми встановили, що вигляд „шуби” залежить від форми і напруженості електричного поля. Нагадаймо, що крупинки вуглецю в полум'ї свічки мають деяку вертикальну швидкість, спричинену конвекційним потоком. Тому на верхній частині вуглецю осідає більша кількість вуглецю. Якщо збільшити напруженість електричного поля, то рівень „шуби” опускатиметься нижче (хоча у верхній частині швидкість наростання „шуби” буде більшою) (рис. 1).

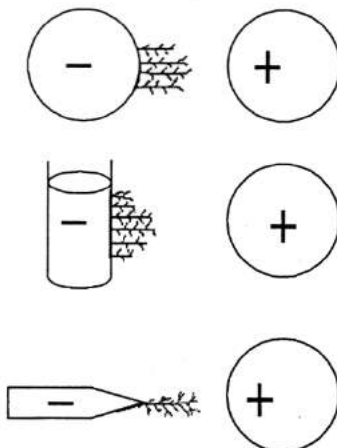


Рис. 2

При невеликих напруженостях електричного поля сили, що діють на крупинки вуглецю, теж невеликі. Тому крупинки вуглецю осідають на електроді повільно, маючи деяку енергію (теплову), встигають впорядкуватись досить щільно, утворюючи рівний шар сажі, що міцно тримається на електроді. Зі збільшенням напруженості поля збільшуються сили, що діють на крупинки вуглецю. Тому „шуба” наростає швидше і впорядковується не так щільно. „Шуба” стає пухнастішою.

Розгляньмо, як залежить вигляд „шуби” від форми електричного поля. Визначальним фактором форми поля є форма електродів. Відомо, що біля гострих виступів електрода напруженість поля різко зростає. Тому на виступах і вістрях „шуба” наростає швидше. Результати деяких експериментів зображені на рис. 2 (вигляд згори).

Маємо ще одне явище, яке зумовлює розгалуженість „шуби”. Якщо напруженість поля велика, то на поверхні електрода „шуба” наростатиме не рівномірно, тобто в одному або декількох місцях (залежно від форми від'ємного електрода) утворюються вуглецеві виступи, що зумовлюють просторовий перерозподіл електричного поля. Напруженість поля поблизу них одразу зростає, тому до них прикріплюватиметься все більше крупинок. Вони швидко ростуть і розгалужуються, утворюючи пухнасту „шубу” (рис. 3).

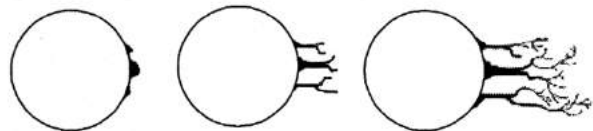


Рис. 3

Отже, „шуба” – це аморфний вуглець, який наростає на від'ємному електроді, утворюючи розгалужену просторову структуру (вона є добрим адсорбентом). „Шуба” утворюється тому, що в полум'ї свічки є розпечені мікроскопічні крупинки вуглецю, які завдяки термоелектронній емісії заряджаються додатньо. Вигляд „шуби” залежить від форми та напруженості електричного поля.

Петро Кравчук,
учень 11-го класу Львівського
фізико-математичного ліцею

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2001 р.

(Умови задач та розв'язки за 8-й і 9-й кл. 2001 року дивіться в журналі „Світ фізики”. 2001. № 1 (13))

10-й клас

Задача 1.

Визначімо масу водяної пари μ_2 , що вилітає з сопла реактивного двигуна за 1 с ($\mu_1 = 24$ кг/с).

$$\left. \begin{array}{l} 2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} \\ 2\text{ моля} - 2\text{ моля} \\ 4\text{ кг} - 36\text{ кг} \\ 24\text{ кг} - \mu_2\text{ кг} \end{array} \right\} \mu_2 = \frac{24 \cdot 36}{4} = 216 \text{ кг.}$$

К.к.д. двигуна визначається: $\eta = \frac{P_{\text{кор.}}}{P_{\text{затр.}}}$.

Корисна потужність двигуна дорівнює кінетичній енергії водяної пари, що вилітає за 1 с.

$$P_{\text{кор.}} = \frac{\mu_2 u^2}{2}$$

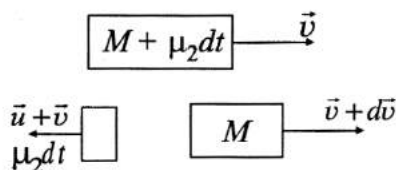
Затрачена потужність двигуна:

$$P_{\text{затр.}} = \frac{Q}{t} = \mu_1 q,$$

тобто

$$\eta = \frac{\mu_2 u^2}{2\mu_1 q} = 0,72 = 72\%$$

Визначімо силу тяги двигуна, розглянувши ракету в деякий момент часу t і через час dt :



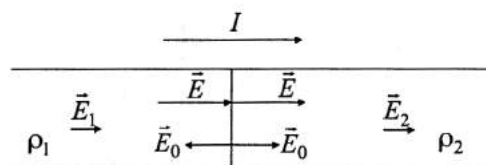
$\mu_2 dt$ – маса водяної пари, що витрачена за час dt ,

dv – зміна швидкості ракети за час dt .

Запишімо закон збереження імпульсу:

$$\begin{aligned} (M + \mu_2 dt)\vec{v} &= M(\vec{v} + d\vec{v}) + \mu_2 dt(\vec{u} + \vec{v}) \Rightarrow \\ M d\vec{v} &= -\mu_2 \vec{u} dt \Rightarrow \vec{F}_{\text{тяги}} = M \frac{d\vec{v}}{dt} = -\mu_2 \vec{u} \\ F_m &= 9,1 \cdot 10^5 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Задача 2.



Отримаймо закон Ома у диференціальній формі:

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow jS = \frac{US}{\rho l} \Rightarrow j = \frac{1}{\rho} \frac{U}{l} = \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

У нашому випадку густина струму $j = \frac{I}{S}$ в обох провідниках однакова $j_1 = j_2$. Звідси випливає, що

$$j = \frac{I}{S} = \frac{E_1}{\rho_1} = \frac{E_2}{\rho_2} \quad (2)$$

$$E_1 = \frac{\rho_1 I}{S}; \quad E_2 = \frac{\rho_2 I}{S} \quad (3)$$

Поле в кожному з провідників визначається, як сума поля джерела (E) і поля зарядженої площини на межі провідників (див. рис.).

$$\left. \begin{array}{l} E_1 = E - E_0 \\ E_2 = E + E_0 \end{array} \right\} \Rightarrow 2E_0 = E_2 - E_1 \quad (4)$$

Поле площини (E_0) визначають за формулою:

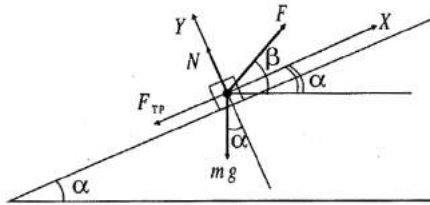
$$E_0 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (5)$$

Врахувавши (3), (4) і (5), отримаємо:

$$\sigma = \frac{I\varepsilon_0}{S}(\rho_2 - \rho_1).$$

Це поверхнева густина заряду на межі провідників.

Задача 3.



1. Тіло рухається рівномірно. Запишімо другий закон Ньютона (див. рис.).

$$\begin{aligned} OY: \quad N + F \sin(\beta - \alpha) &= mg \cos \alpha \\ N &= mg \cos \alpha - F \sin(\beta - \alpha) \end{aligned}$$

OX :

$$\begin{aligned} F \cos(\beta - \alpha) &= \mu(mg \cos \alpha - F \sin(\beta - \alpha)) + mg \sin \alpha \\ F(\cos(\beta - \alpha) + \mu \sin(\beta - \alpha)) &= mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{\mu \sin(\beta - \alpha) + \cos(\beta - \alpha)} = \\ &= \frac{\text{const}}{\mu \sin(\beta - \alpha) + \cos(\beta - \alpha)} \end{aligned}$$

За умовою задачі F – мінімальне, це означає, що похідна F за β дорівнює нулеві.

$$\begin{aligned} F' = 0 &\Rightarrow (\mu \sin(\beta - \alpha) + \cos(\beta - \alpha))' = \\ &= \mu \cos(\beta - \alpha) - \sin(\beta - \alpha) = 0 \end{aligned}$$

Звідси

$$\text{tg}(\beta - \alpha) = \mu \Rightarrow \beta = \alpha + \text{arctg} \mu.$$

$$F_{\min} = \frac{mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

2. При русі з прискоренням

$$\begin{aligned} OX: \quad ma &= F \cos(\beta - \alpha) - \mu(mg \cos \alpha - \\ &- F \sin(\beta - \alpha)) - mg \sin \alpha \end{aligned}$$

Звідси випливає, що

$$\begin{aligned} F &= \frac{ma + mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{\cos(\beta - \alpha) + \mu \sin(\beta - \alpha)} = \\ &= \frac{\text{const}}{\cos(\beta - \alpha) + \mu \sin(\beta - \alpha)} \end{aligned}$$

Сила мінімальна при

$$\text{tg}(\beta - \alpha) = \mu,$$

$$\beta = \alpha + \text{arctg} \mu \text{ при } a \leq a_0.$$

Враховуючи:

$$\cos(\beta - \alpha) = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}}, \quad (1)$$

$$\sin(\beta - \alpha) = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2}}. \quad (2)$$

Отримаємо

$$F_{\min} = \frac{ma + mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{\sqrt{1 + \mu^2}} \quad (3)$$

при $a \leq a_0$.

При деякому прискоренні a_0 тіло починає відриватись від площини ($N = 0, F_{\text{тр}} = 0$):

$$OX: \quad F \sin(\beta - \alpha) = mg \cos \alpha.$$

Врахувавши (2) та (3), отримаємо:

$$a_0 = g \left(\frac{\cos \alpha}{\mu} - \sin \alpha \right)$$

Якщо при $a < a_0$ – тіло ковзає по похилій.

Якщо при $a > a_0$ – тіло летить над поверхнею

$$\left. \begin{aligned} OY: \quad F \sin(\beta - \alpha) &= mg \cos \alpha \\ OX: \quad F \cos(\beta - \alpha) - mg \sin \alpha &= ma \end{aligned} \right\}$$

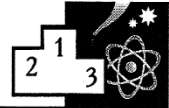
Звідси випливає

$$\text{tg}(\beta - \alpha) = \frac{mg \cos \alpha}{ma + mg \sin \alpha},$$

$$\beta = \alpha + \text{arctg} \frac{g \cos \alpha}{a + g \sin \alpha} \text{ при } a \geq a_0.$$

Задача 4.

Визначимо максимальний об'єм V_{02} , при якому водяна пара насичена ($P_{\text{н}} = 10^5 \text{ Па}$).



m_1	N_2	μ_2	m_2	H_2O	μ_2
$T = 373$			$T = 373$		
V_1		P	P		

$$P_n V_{02} = \frac{m_2}{\mu_2} RT.$$

$$V_{02} = \frac{m_2 RT}{\mu_2 P_n} = 3,44 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 3,44 \text{ л}$$

$V_{02} > V$ – водяна пара має об'єм, менший від максимального, це означає, що пара насичена, і її тиск

$$P_n = 10^5 \text{ Па}.$$

Такий самий тиск має азот

$$P_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT, \quad V_1 = \frac{m_1 RT}{P_n \mu_1}$$

$$\alpha = \frac{V_1}{V} = \frac{m_1 RT}{P_n V \mu_1} = 0,55 = 55\%.$$

Задача 5.

Дивіться розв'язок задачі 5 за 9-й клас (журнал „Світ фізики”. 2001. № 1).

11-й клас

Задача 1.

Дивіться розв'язок задачі 3 за 10-й клас.

Задача 2.

Дивіться розв'язок задачі 4 за 10-й клас.

Задача 3.

Потужність, що виділяється на резисторі у колі без конденсатора

$$P_1 = \frac{U_{\max}^2}{2R} \cdot \frac{1}{2} = \frac{U_{\max}^2}{4R}, \quad U_{\max} = \sqrt{2} U_d$$

(множник $1/2$ пов'язаний наявністю діода, який на половину періоду розмикає коло).

У колі з конденсатором напруга на резисторі постійна і дорівнює максимальній

$$P_2 = \frac{U_{\max}^2}{R}.$$

Тоді

$$\frac{P_2}{P_1} = 4.$$

Задача 4.

1. Для визначення максимальної напруги U_0 на конденсаторі скористайтесь законом збереження енергії для моментів часу, коли струм максимальний ($U = 0$) і коли $I = 0$ (U – максимальне).

$$\frac{CU_0^2}{2} = \frac{(L_1 + L_2)I_0^2}{2},$$

$$U_0 = I_0 \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{C}}.$$

2. Оскільки осердя вводять дуже швидко ($\Delta t \ll T$), можна вважати, що опір конденсатора ($X_C = \frac{1}{\omega C}$) дуже малий ($X_C \ll 1$), тоді коло можна вважати надпровідним. Для надпровідного кола виконується закон збереження магнетного потоку до введення осердя і після.

$$\Phi_1 = \Phi_2$$

$$(L_1 + L_2)I_0 = (\mu L_1 + L_2)I_1$$

$$I_1 = I_0 \frac{L_1 + L_2}{\mu L_1 + L_2}.$$

Тоді за законом збереження енергії маємо:

$$U_1 = I_1 \sqrt{\frac{\mu L_1 + L_2}{C}} = I_0 \frac{(L_1 + L_2)}{\sqrt{C(\mu L_1 + L_2)}}.$$

Задача 5.

Дивіться розв'язок задачі 5 за 9-й клас (журнал „Світ фізики”. 2001. № 1).

Розв'язки підготував
Володимир АЛЕКСЕЙЧУК

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

8-й клас

Задача 1.

СВ-вода

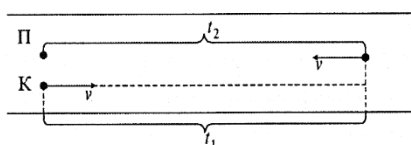


Рис. 1.

У СВ-вода пліт (п) нерухомий, а катер (к) має швидкість v (незалежно від напрямку руху).

Нехай t_1 – час руху катера вниз за течією до нижньої точки, t_2 – час руху катера вверх до зустрічі з плотом. Як видно з рис. 1,

$$t_1 = t_2.$$

СВ-Земля

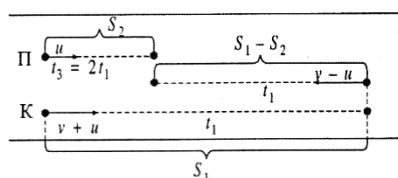


Рис. 2.

Повний час руху катера

$$t = \frac{S_1}{v+u} + \frac{S_1}{v-u} = \frac{2vS_1}{v^2-u^2} \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{S_1}{v+u} \text{ – час руху катера за течією,}$$

$$t_3 = 2t_1 = \frac{S_2}{u} \text{ – час руху плоту до зустрічі з катером.}$$

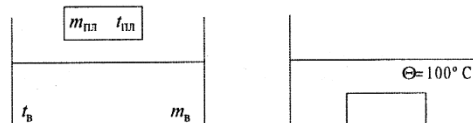
$$\frac{S_1}{v+u} = \frac{S_2}{2u} \Rightarrow v = \frac{u(2S_1 - S_2)}{S_2}. \quad (2)$$

Із формул (2) та (1) випливає, що

$$u = \frac{(2S_1 - S_2)S_2}{2t(S_1 - S_2)} = 2 \text{ км/год.}$$

Отже, $v = 14$ км/год.

Задача 2.



За умовою, рівень води не змінюється. Це означає, що об'єм води, яка випарувалась ($V_{\text{вс}}$), дорівнює об'єму платини ($V_{\text{пл}}$):

$$V_{\text{вс}} = V_{\text{пл}} \Rightarrow \frac{m_{\text{вс}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{m_{\text{пл}}}{\rho_{\text{пл}}},$$

маса води, яка випарувалась,

$$m_{\text{вс}} = m_{\text{пл}} \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{пл}}}. \quad (1)$$

Для теплообміну запишімо рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{П}}, \quad (2)$$

де

$$Q_{\text{пл}} = c_{\text{пл}} m_{\text{пл}} (t_{\text{пл}} - \theta). \quad (3)$$

Це кількість теплоти, що віддала платина, охолоджуючись до $\theta = 100^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (\theta - t_{\text{в}}). \quad (4)$$

Це кількість теплоти, яку отримала вода, нагріваючись до 100°C .

$$Q_{\text{П}} = m_{\text{вс}} r = m_{\text{пл}} \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{пл}}} r. \quad (5)$$

Це кількість теплоти, що пішла на випаровування води.

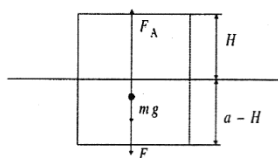
Підставмо (3), (4), (5) у (2) і врахувавши що $m_{\text{в}} = m_{\text{пл}}$, отримаємо:

$$t_{\text{П}} = \theta + \frac{c_{\text{в}}}{c_{\text{пл}}} (\theta - t_{\text{в}}) + \frac{r \rho_{\text{в}}}{c_{\text{пл}} \rho_{\text{пл}}} = 1250^\circ\text{C}.$$

Задача 3.

Запишімо умову рівноваги для куба:

$$F + mg = F_A. \quad (1)$$



F – сила тиску містка на куб, яка дорівнює силі тиску куба на місток,

$$m = \rho_{\Pi} a^3, \quad (2)$$

$$F_A = \rho_{\sigma} g a^2 (a - H). \quad (3)$$

Це сила Архімеда. Підставмо (2) і (3) в (1) і отримаймо:

$$F = g a^2 ((\rho_{\sigma} - \rho_{\Pi}) a - \rho_{\sigma} H) \quad (4)$$

при $H < H_0$, де H_0 – висота містка за якої $F = 0$.

$$(\rho_{\sigma} - \rho_{\Pi}) a - \rho_{\sigma} H_0 = 0.$$

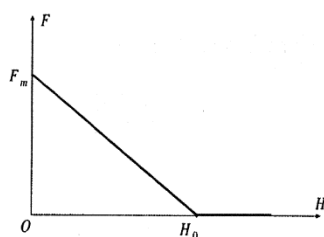
Звідси випливає:

$$H_0 = \frac{(\rho_{\sigma} - \rho_{\Pi}) a}{\rho_{\sigma}} = 0,47 \text{ м}$$

Максимальна сила тиску буде при $H = 0$, тобто

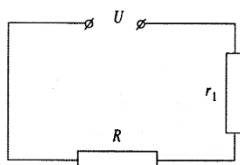
$$F_{\max} = (\rho_{\sigma} - \rho_{\Pi}) g a^3 = 1200 \text{ Н.}$$

Як видно з (4) сила лінійно залежить від висоти містка. За умови $H > H_0$, $F = 0$.



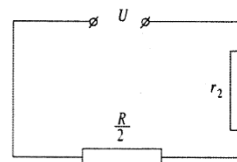
Задача 4.

У першому випадку



$$Q = \frac{u^2}{(R + r_1)^2} r_1 t_1. \quad (1)$$

У другому випадку



$$Q = \frac{u^2}{(R/2 + r_2)^2} r_2 t_2. \quad (2)$$

Прирівнявши (1) та (2), отримаймо:

$$\frac{r_1 t_1}{(R + r_1)^2} \left(\frac{R}{2} + r_2\right)^2 = r_2 t_2.$$

Підставивши числові значення (для спрощення), отримаймо квадратне рівняння:

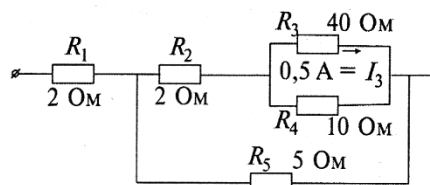
$$r_2^2 - 50 r_2 + 225 = 0.$$

Розв'язавши це рівняння, отримаймо:

$$r_2 = 5 \text{ Ом}, \quad r_2 = 45 \text{ Ом}.$$

Задача 5.

Зобразімо еквівалентну схему кола.



Розрахуймо це коло.

$$U_3 = I_3 R_3 = 20 \text{ В}, \quad U_3 = U_4.$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{U_3}{R_4} = 2 \text{ А.}$$

$$I_2 = I_3 + I_4 = 2,5 \text{ А.}$$

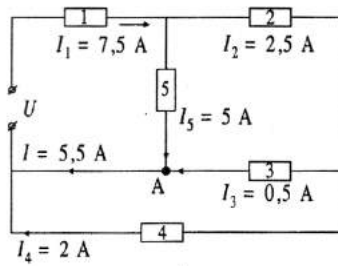
$$U_{23} = U_2 + U_3 = I_2 R_2 + U_3 = 25 \text{ В} = U_5.$$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5} = 5 \text{ А}, \quad I_1 = I_2 + I_5 = 7,5 \text{ А.}$$

$$U_1 = I_1 R_1 = 15 \text{ В}, \quad U = U_1 + U_5 = 40 \text{ В}$$

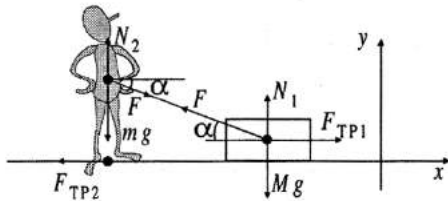
Розраховуючи коло, ми використали закони послідовного і паралельного з'єднання провідників. Для вузла А маємо:

$$I = I_5 + I_3 = 5,5 \text{ А.}$$



9-й клас

Задача 1.



Запишімо умову рівноваги для санок, вважаючи що вони починають ковзати:

$$OY: N_1 = Mg - F \sin \alpha$$

$$F_{\text{мп1}} = \mu_1 N_1 = \mu_1 (Mg - F \sin \alpha),$$

$$OX: F \cos \alpha = \mu_1 (Mg - F \sin \alpha). \quad (1)$$

Запишімо умову рівноваги для людини:

$$OY: N_2 = mg + F \sin \alpha.$$

Звідси випливає:

$$F_{\text{мп2}} = \mu_2 (mg + F \sin \alpha)$$

$$OX: F \cos \alpha = \mu_2 (mg + F \sin \alpha). \quad (2)$$

З (1) випливає

$$F(\cos \alpha + \mu_1 \sin \alpha) = \mu_1 Mg. \quad (3)$$

З (2) випливає

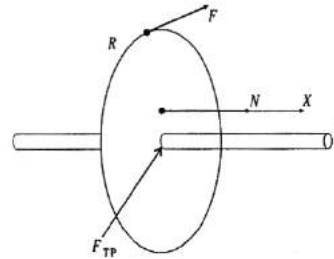
$$F(\cos \alpha - \mu_2 \sin \alpha) = \mu_2 mg. \quad (4)$$

Поділивши (3) на (4), отримаємо:

$$\text{tg} \alpha_0 = \frac{\mu_1 M - \mu_2 m}{\mu_1 \cdot \mu_2 (m + M)}, \quad \alpha_0 = 64 \text{ град.}$$

Кут α_0 граничний, тобто за $\alpha \geq \alpha_0$ людина зможе зрушити санки з місця.

Задача 2.



На маховик, крім зовнішніх сил F і N , діє сила тертя $F_{\text{тр}}$. Розкладімо силу тертя на складові $F_{\text{тр,x}}$ уздовж вісі і $F_{\text{тр,y}}$ перпендикулярно до осі, тоді

$$F_{\text{тр}} = \sqrt{F_{\text{тр,x}}^2 + F_{\text{тр,y}}^2}. \quad (1)$$

Силу $F_{\text{тр,y}}$ визначмо з умови рівноваги маховика (обертання навколо осі відсутнє), момент сили F дорівнює моменту сили $F_{\text{тр,y}}$:

$$FR = F_{\text{тр,y}} \cdot r.$$

Звідси

$$F_{\text{тр,y}} = \frac{FR}{r}. \quad (2)$$

Силу $F_{\text{тр,x}}$ визначмо з умови рівноваги маховика уздовж вісі OX (мінімальне значення N відповідає рівномірному рухові маховика):

$$F_{\text{тр,x}} = N \quad (3)$$

Вирази (3) і (2) підставмо в (1):

$$F_{\text{тр}}^2 = N^2 + \left(\frac{FR}{r}\right)^2,$$

звідси

$$N = \sqrt{F_{\text{тр}}^2 - \left(\frac{FR}{r}\right)^2} = 600 \text{ Н.}$$

Задача 3.

З рис. 1:

$$\text{tg} \alpha_0 = \frac{a}{b} \quad (1)$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2)$$

$$\cos\alpha_0 = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (3)$$

$$l = \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2} \quad (4)$$

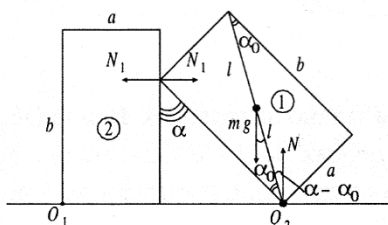


Рис. 1.

Можливі два випадки:

- Обидва бруски ковзають (сили реакції горизонтальної поверхні на обидва бруски рівні: $N = mg$, і сили тертя ковзання однакові).
- Другий брусок перекидається (обертається) навколо осі O_1 .

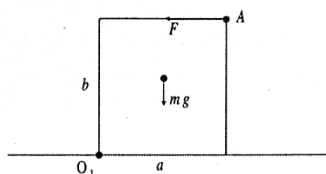


Рис. 2.

Розглянемо перший випадок. Нехай на другий брусок діє сила F така, що коли вона прикладена у т. A (рис. 2) брусок починає обертатись відносно осі O_1 . Якщо сила F прикладена хоч трохи нижче т. A , брусок ковзає. Це означає, що

$$F = \mu_0 mg,$$

тоді умова обертання відносно O_1 :

$$Fb = \mu_0 mgb = \frac{mga}{2} \Rightarrow \mu_0 = \frac{a}{2b}.$$

При

$$\mu < \mu_0 = \frac{a}{2b} \quad (5)$$

бруски можуть тільки ковзати. Умова ковзання з рис. 1:

$$N_1 = \mu mg \quad (6)$$

Силу N_1 знайдімо з умови рівноваги першого бруска відносно O_2 :

$$N_1 b \cos\alpha = mgl \sin(\alpha - \alpha_0), \quad (7)$$

врахувавши, що

$$\sin(\alpha - \alpha_0) = \sin\alpha \cos\alpha_0 - \sin\alpha_0 \cos\alpha, \quad (8)$$

отримаємо

$$\frac{N_1 b}{mgl} = \operatorname{tg}\alpha \cos\alpha_0 - \sin\alpha_0. \quad (9)$$

Підставмо (2), (3) і (4) в (9):

$$N_1 = \frac{btg\alpha - a}{2b} mg. \quad (10)$$

Підставмо (10) у (6):

$$\operatorname{tg}\alpha = 2\mu + \frac{a}{b} = 2\mu + \operatorname{tg}\alpha_0. \quad (11)$$

Звідси

$$\alpha_1 = \operatorname{arctg}\left(2\mu + \frac{a}{b}\right). \quad (12)$$

Зрозуміло, що перший брусок не перекидається назад, якщо

$$\alpha \geq \alpha_0 = \operatorname{arctg}\frac{a}{b}. \quad (13)$$

Бруски будуть у рівновазі, якщо $\alpha_0 \leq \alpha \leq \alpha_1$, тобто

$$\operatorname{arctg}\frac{a}{b} < \alpha < \operatorname{arctg}\left(2\mu + \frac{a}{b}\right).$$

Якщо точка контакту брусків має координату $b \cos\alpha_1$, тоді:

$$\mu \leq \frac{a}{2b \cos\alpha_1} \Rightarrow \mu \leq \frac{a(a^2 + b^2)}{2b(b^2 - a^2)}.$$

Розглянемо другий випадок. Якщо $\mu \geq \mu_0$, другий брусок обертається відносно O_1 :

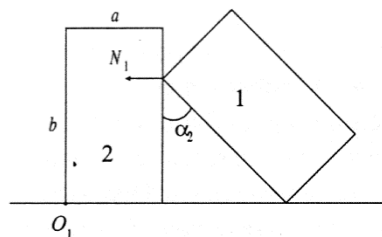


Рис. 3.

$$N_1 b \cos\alpha_2 = \frac{mga}{2},$$

врахуймо (10), тоді

$$N_1 b \cos\alpha_2 = \frac{mga}{2}.$$

$$\sqrt{1 - \cos^2\alpha_2} = \frac{a}{b}(1 + \cos\alpha_2),$$

$$(b^2 + a^2)\cos^2\alpha_2 + 2a^2\cos\alpha_2 - (b^2 - a^2) = 0,$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2} \Rightarrow \sin \alpha_2 = \frac{2ab}{b^2 + a^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{2ab}{b^2 - a^2}$$

Тоді умова рівноваги брусків

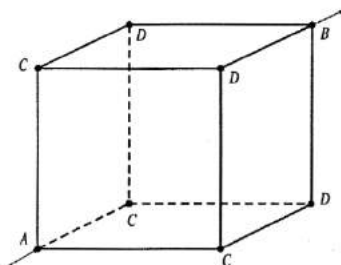
$$\operatorname{arctg} \frac{\alpha}{2} \leq \alpha \leq \operatorname{arctg} \frac{2ab}{b^2 - a^2}, \text{ якщо}$$

$$\mu \geq \frac{\alpha}{2b \cos \alpha_2} = \frac{a(b^2 + a^2)}{2b(b^2 - a^2)}$$

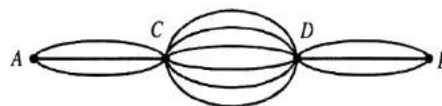
Задача 4.

Дивіться розв'язок задачі 3 за 8-й клас.

Задача 5.



За умови підключення контактів до протилежних вершин дротяного куба еквівалента схема має вигляд (дротинка на схемі – ребро куба):



1. Якщо струм задано на ділянках AC або DB , тоді струм у всіх ребрах AC і DB однаковий і дорівнюватиме I , а на ділянці CD струм у всіх ребрах удвічі менший.

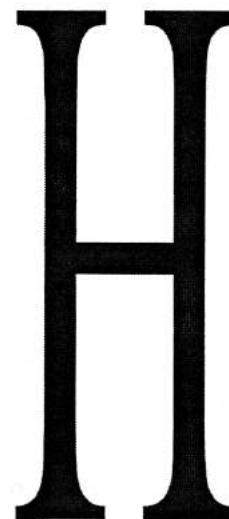
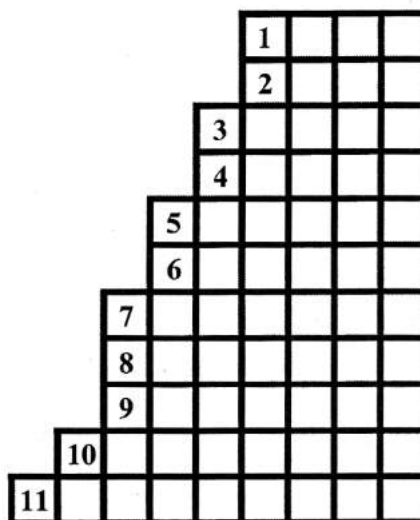
2. Якщо струм задано в ребрі на ділянці CD , тоді струм у ребрах на ділянках AC і DB дорівнюватиме $2I$, а на ділянці CD струм у всіх ребрах дорівнює I .

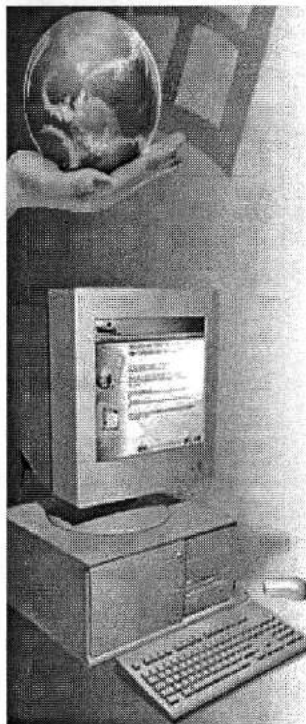
Розв'язки підготував
Володимир АЛЕКСЕЙЧУК

У незаповнені клітинки впишіть прізвища вчених, які закінчуються літерою **Н**

1. Французький фізик, який відкрив закон взаємодії електричних зарядів. 2. Німецький фізик, який експериментально визначив швидкість руху молекул. 3. Англійський фізик, який відкрив електрон. 4. Російський учений, який займався експериментальним вивченням атмосферної електрики. 5. Англійський учений, на честь якого названа одиниця температури. 6. Німецький учений, який відкрив нове випромінювання електромагнетних хвиль. 7. Американський учений, який встановив закон збереження зарядів, довів електричне походження блискавки. 8. Австрійський учений, який ввів одну з важливих постійних величин молекулярно-кінетичної теорії. 9. Учений, який написав спеціальну теорію відносності.

10. Французький фізик, який встановив співвідношення між термодинамічними параметрами. 11. Американський учений, який визначив швидкість світла.





Чи знаєте Ви, що...

Професор Техаського університету, керівник сектору фізики космічних частинок Г'юстонського дослідницького центру Д. Нанопулос зі співробітниками встановив, що швидкість світла у вакуумі не стала, а може змінюватись. За А. Айнштайном, сталість швидкості світла в усіх системах відліку є нарізним каменем теорії відносності і всіх головних фізичних законів. Професор Д. Нанопулос та його колеги прийшли до радикальних висновків, працюючи над теорією квантової гравітації, мета якої: об'єднати дві найважливіші теорії XX сторіччя – теорію відносності й квантову фізику.

Експериментальна перевірка цієї теорії здійснюється через вловлювання спеціальним детектором одночасно випромінених фотонів і визначення різниці в часі їхнього прибуття. Короткохвильові фотони, за цією теорією, повинні мати меншу швидкість і прибувати пізніше.

За часами запізнення фотонів від шести астрономічних об'єктів Д. Нанопулос та його колеги розрахували гравітаційну сталу, яка відома з часів Ньютона. Вчені були здивовані, як збіглися значення гравітаційної сталої, отримані різними шляхами, і це, на їхню думку, є першим доказом правильності нової теорії. „Залежність швидкості світла від довжини хвилі, – зазначив Д. Нанопулос, – радикально змінює наші погляди на теорію відносності, але якщо віддаль між астрономічними об'єктами менша, ніж мільйони світлових років, то айнштайнівські рівняння залишаються актуальними.”

Листи до редакції...

Ювілейний тиждень у Берліні відбувся рівно за 100 років від дня історичної доповіді Планка – з 11 до 16 грудня 2000 р.

З 11 до 13 грудня 2000 р. у Технічному університеті Берліну відбулись паралельно три симпозиуми: „Сучасні дослідження з основ квантової фізики”, „Квантові явища в науці про тверде тіло”, „Елементарні частинки і утворення Всесвіту”.

14 до 16 грудня 2000 р. – „Створення квантової фізики у період до 1935 р.”.

Переважає більшість доповідачів була зі США, Англії, Німеччини, Австрії, було зроблено понад 40 доповідей. Серед них можна відзначити доповідь „Відкриття кварків” Нобелівського лауреата Д. Фрідмана (Jerome I. Friedman) (Кембрідж, США). Він розповів, зокрема, про експерименти на лінійному прискорювачі у Стенфорді. Дослідження глибоко напружених зіткнень електронів з нуклонами показали, що розміри кварків менші ніж 10^{-17} см.

Лауреат Нобелівської премії 1999-го року Г. Гофт (Gerard't Hooft) (Утрехт, Нідерланди) у доповіді „Квантова хромодинаміка”, зупинившись коротко на досягненнях цієї теорії, відзначив, що її розвиток ще не завершено. Хоча коректні рівняння існують, бракує ефективних методів їх розв'язування. Крім цього, потрібно довести, що основи цієї теорії математично бездоганні.

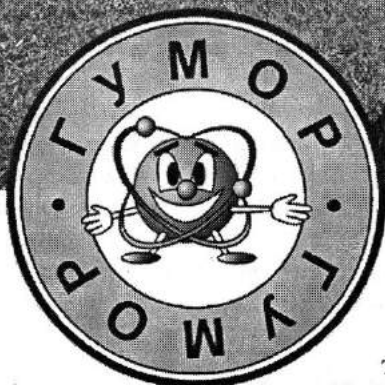
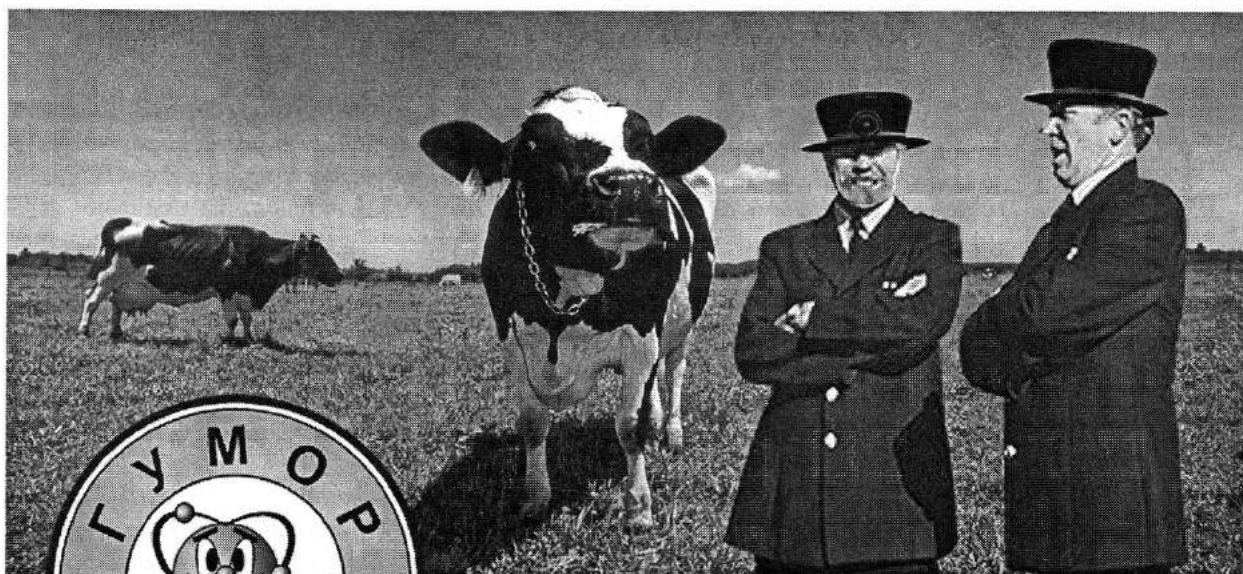
У доповіді Ю. Весс (Julius Wess) (Мюнхен) „Квантова механіка і симетрія” значну увагу було приділено так званій суперсиметрії між бозонами і ферміонами. Суперсиметрія відіграє дуже важливу роль, тому не дивно, що більшість вдалих фізичних моделей мають суперсиметрію.

У фізиці твердого тіла сьогодні значну увагу приділяють створенню і дослідженню наноструктур. Цій темі була присвячена доповідь Р. Вісєндангера (Roland Wiesendanger) (Гамбург) „Дослідження наноструктур за допомогою скануючої спектроскопії”.

На завершення тижня, 15 і 16 грудня, було проведено Третій Міжнародний конгрес фізичних товариств. На ньому були присутні представники фізичних товариств із 47 країн світу, зокрема й з України. На конгресі обговорювались проблеми міжнародного співробітництва між фізиками, викладання фізики у середніх школах і вищих навчальних закладах, зв'язків із виробництвом тощо.

Загалом тиждень фізики показав, що фізика залишається однією з найцікавіших і найважливіших наук. І немає сумніву в тому, що попереду ще багато натхненної праці й захопливих відкриттів.

професор І. Тальянський,
(Вісмар, Німеччина)



Дотепні фізики

Наприкінці 20-х років ХХ сторіччя у Копенгагені у славетного данця Нільса Бора двічі на рік збиралися найвідоміші фізики-теоретики з усієї Європи для обговорення актуальних проблем. Учасниками цих семінарів були люди веселі, дотепні. У вільний час вони вміли пожартувати.

Якось великий фізик-теоретик Паскуаль Йордан, гуляючи з приятелем, теж фізиком, на околиці Копенгагену, побачив невелику череду корів, що лежали на лузі й жували. Учені звернули увагу на те, що при жуванні деякі корови рухають нижньою щелепою ліворуч, а інші – зліва направо. Вони підраховали право- і лівожуйних корів і впевнились, що кількість тих й інших приблизно однакова.

Повернувшись додому, друзі вирішили посміятися з відомого редактора популярного англійського наукового журналу „Нейчер” („Природа”), знаменитого фізика Астона і написали невелику статтю „Про значення правого і лівого обертання в біології”. Автори статті, оперуючи науковою термінологією, дотримуючись усіх вимог щодо оформлення наукової статті, з найсерйознішим виглядом міркували з приводу своїх спостережень над чередою корів і в кінці статті навели низку зовсім фантастичних даних „математично-статистичного” аналізу. У статті з усією скромністю наголошувалося, що ці спостереження поки що стосуються лише корів данської породи.

Стаття, яку автори надіслали до редакції „Нейчер”, була швидко надрукована в розділі „Листи до редакції”. Один із одержаних відбитків автори з відповідною посвятою надіслали редакторів. У записці, між іншим, було зауважено, що бодай зрідка редакторів корисно заглядати в надіслані статті.

Поважний редактор, не позбавлений гумору, не образився і надіслав друзям-фізиком листа, в якому визнав, що хоча перечитувати всю надіслану нісенітницю досить нудно, але, мабуть, час від часу заглядати в неї все ж потрібно.

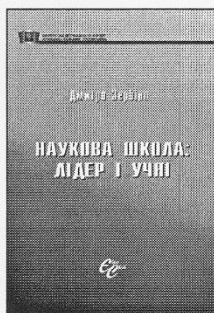
Подібні „наукові” статті й досі іноді трапляються на сторінках наукових журналів!

Найбільший фізик Америки – це Я

На зорі великої енергетики знаменита „Компанія Ніагарських водопадів” довго не могла зробити вибір: що краще – змінний чи постійний струм. Накінець вона вирішила порадитись з фізиком Генрі Роуландом. Він порекомендував зупинитись на генераторі змінного струму. І виявився правим. Однак компанія, вважаючи гонорар надто великим, зробила спробу зменшити його. Роуланд подав у суд. Підприємці найняли маститого адвоката, а вчений дістав нагоду повправлятися у гуморі.

- Професоре! – звернувся до Роуlanda адвокат.
- Скажіть, кого ви вважаєте найбільшим фізиком Америки?
- Оскільки я присягнувся говорити правду, всю правду і тільки одну правду, – з відчаєм відповів учений, – я не можу приховати, що найбільший фізик Америки – це Я”.

Зербіно Д.Д. Наукова школа: лідер і учні. – Львів: Євросвіт, 2001. – 200 с.: іл.



Це книга відомого українського ученого, член-кореспондента НАН України, Дмитра Зербіно, про засади формування і функціонування наукової школи.

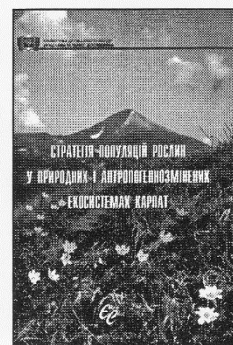
У монографії подано принципово нову концепцію автора: лише вчений-екстраверт, що наділений особливими вродженими якостями лідера, який має свої ідеї і великий досвід, може створити наукову школу. Обстоюється думка, що наукова школа – спонтанний феномен. Розглядаються різні проблеми наукової творчості, взаємовідносини лідера наукової школи з учнями.

Книга буде цікавою не тільки для наукознавців, а й для всіх, хто цікавиться життям сучасної науки.

Стратегія популяцій рослин у природних і антропогеннозмінених екосистемах Карпат /За. ред. М. Голубця, Й. Царика.– Львів: Євросвіт, 2001. –160 с.: іл. 8.

Монографія містить результати аналізу диференційних та інтегральних ознак стратегії популяцій корисних, рідкісних, ендемічних, едифікаторних і субедифікаторних видів рослин у первинних й антропогенних умовах; вказано на індикаційну цінність ознак стратегій для характеристики стану популяцій, зроблено спробу імітаційно змоделювати процеси росту популяцій R-стратегії.

Для ботаніків, екологів, працівників лісового й сільського господарств, викладачів і студентів, фахівців з охорони природи.



Євросвіт

ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

1. Ярослав Довгий. Чарівне явище надпровідність. - Львів: Євросвіт, 2000. - 440 с.
2. Осягнувши найбільшу Любов. - Львів: Євросвіт, 2001. - 184 с.: іл.
3. В. Алексейчук, О. Гальчинський, Г. Шопа. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки. - Львів: Євросвіт, 2000. - 168 с.
4. Лейфура В.М., Мітельман І.М. та ін. Задачі міжнародних математичних олімпіад та методи їх розв'язування. - Львів: Євросвіт, 1999. - 128 с.
5. Максимчук В.Ю., Городиський Ю.М., Кузнецова В.Г. Динаміка аномального магнітного поля Землі. - Львів: Євросвіт, 2001. - 308 с.: іл.
6. Гаральд Іро. Класична механіка /Переклад з нім. Р.Гайди, Ю.Головача /За ред. І.Вакарчука. - Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 1999. - 464 с.
7. Іван Вакарчук. Вступ до проблеми багатьох тіл. Посібник. - Львів: ЛНУ ім.І.Франка, 1999. - 220 с.: 12 іл.
8. Іван Вакарчук. Квантова механіка. - Львів: ЛДУ ім. І.Франка, 1998. - 616 с.: 73 іл.
9. Іван Франко. Абу-Касимові капці. - Львів: Євросвіт, 1998. - 96 с.: 10 іл.
10. Орест Попович. Партії та розповіді шахіста з Америки. - Львів: Академічний експрес, 1996. - 153 с.
11. Серія книг В. Круковської про українські звичаї святкувати християнські свята: Святкуймо Миколая, Різдво, Великдень, Зелені Свята, Івана Купала.

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



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



Рим: архітектурна велич

324 року імператор Константин побудував у Римі СОБОР на честь св. Петра. Собор побудований на правому березі ріки Тибр, де в давнину було замучено багато християн, а серед них і апостола Петра. Перший Собор мав вигляд невеликої каплички, його багато разів доповнювали та перебудовували.

1506 року архітекторів Браманте доручили повну реконструкцію Собору. Браманте допомагали Рафаель, Перуцці, Санґалло і Мікельанджело. Було задумано збудувати величний Собор у формі грецького хреста з прекрасним подвійним куполом.

На початку XVII ст. прийняли рішення збудувати церкву у вигляді латинського хреста. Проект фасаду виконав архітектор Мадерно. Пізніше Берніні створив круглу колонаду площі святого Петра. У центрі площі – єгипетський обеліск, перенесений сюди з Цирку-арени Нерона, з боків якого симетрично розташовані фонтани роботи Мадерно та Берніні.

Львів вітає Папу Римського Івана Павла II



На світліні: Папамобіль біля редакції журналу «Світ фізики»