

С В І Т

ФІЗИКА

№4
2004

науково-популярний журнал

*Найкраще людина навчається тоді,
коли вона навчає інших*

Сенека



ФЕСТИВАЛЬ ФІЗИКИ, МАТЕМАТИКИ ТА ДРУЖБИ

У грудні 2004 року відбувся Львівський обласний турнір юних фізиків, де брало участь шістнадцять команд з усієї області. Переможцями турніру стали: перше місце – команда школярів Дрогобицького педагогічного ліцею, друге – Львівського фізико-математичного ліцею, третє – Малої академії наук.

Перемога команди Дрогобицького педагогічного ліцею видається закономірною, адже у цьому навчальному закладі вчителі приділяють особливу увагу підготовці школярів. І не дивно, що вихованці з Дрогобича – постійні учасники турнірів юних фізиків, олімпіад різних рівнів та стають переможцями.

Нещодавно у Дрогобицькому педагогічному ліцеї відбувся фізико-математичний фестиваль, який зібрав велику кількість учасників з усієї



Команда переможців ТЮФу Львівщини – школярі Дрогобицького педагогічного ліцею з учителем фізики Романом Хлопиком



Команда Львівської Малої академії наук

зії ім. А. Шептицького з м. Стрия (керівник – Зеновій Миколайович Данилишин, капітан – Ольга Дмитрук), спеціалізованої школи № 6 м. Лубни Полтавської області (керівники команди – Лариса Анатоліївна Деркач та Тетяна Володимирівна Коршак, капітан – Дмитро Черніков), гімназії м. Борислава (керівник – Надія Володимирівна Столяр, капітан – Катерина Гнатишак), ЗНВО "Гімназія ім. Лесі Українки – ДНЗ" з м. Новоград-Волинська (керівник – Леся Іванівна Венгер, капітан – Максим Горбань). Разом із командою Дрогобицького ліцею (керівники – Галина Євгенівна Губицька та Роман Михайлович Сосяк, капітан – Марія Табачук) усі вони стали учасниками Першого українського фізико-математичного фестивалю.

України. Десь у глибині душі навіть були побоювання, що команда Дрогобицького педагогічного ліцею "Ерудит" залишиться один на один з цим заходом. Адже, щоб приїхати в Дрогобич, треба було подолати чимало проблем, насамперед – фінансових.

Та навіть попри різного роду труднощі, до Дрогобича прибули команди з м. Жовкви (школярі загально-освітньої школи № 2 та Солошанської загально-освітньої школи, керівник команди – Петро Михайлович Лушчик, капітан – Марія Кравцова), Одеського ліцею "Приморський" (керівник – Лариса Костянтинівна Попова, капітан – Олексій Рудой), гімназії ім. С. І. Олійника з м. Бровари Київської області (керівник – Олена Вікторівна Тарасова, капітан – Тимофій Макаров), Української гімна-



Команда школярів Львівського фізико-математичного ліцею

(Продовження читайте на стор. 42)

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

4(28)'2004

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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

Олекса Біланюк

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Юрій Ранюк

Йосип Стахіра

Роман Федорів

Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк

СП „Євросвіт”, наклад 1000 прим.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 96 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

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

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

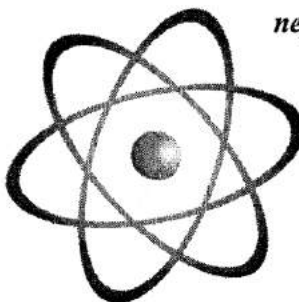
”Простий набір фактів не можна вважати повноцінною наукою. Очевидно, що факти є важливою частиною будь-якої науки, але, будучи не взаємозв'язані між собою, вони мають обмежене значення. Щоб ефективно скористатись фактами, якими володіємо, ми мусимо зрозуміти зв'язок між ними, систематизувати отриману інформацію й виявити, як одна подія впливає з іншої чи впливає на неї. Поступаючи так, ми користуємось науковим методом: спостереження, роздуми, досвід.

Науковий метод – це не формальна процедура і не докладний план дослідження невідомого. У науці ми завжди маємо бути готові до того, що може з'явитися нова ідея, і до того, щоб вміти відразу використати можливість, яка раптово з'явиться.

Прогрес в науці відбувається лише завдяки аналізу інформації, яку ми отримуємо з експериментів і теоретичного аналізу, що встановлюють зв'язок між фактами і дають змогу оцінити його.

Отже, не можна накладати якигось обмежень розвитку науки. Кожен науковець працює своїми методами. Та щоразу, поєднуючи теорію з експериментом, ми використовуємо науковий підхід...”

*Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові й маловідомі явища фізики

Шопа Г., Гальчинський О. Еволюція уявлень про простір і час

Вайнберг Стівен. Якою буде фізика за півсторіччя?

2. Фізики України

Краус Іво. Українські ректори вищих наукових шкіл

3. Фізики світу

Шопа Г. Провідний науковець у галузі теорії елементарних частинок (до 75-річчя М. Гелл-Манна)

Ахіллес Мандред. Йоганн Якоб Бальмер

4. Нобелівські лауреати

Гальчинський О. Крок до створення універсальної теорії взаємодії

5. Творчість юних

Фрей Олександр. Ліфт

6. Фізика для наймолодших

Старощук Валерій. Досліди Мудрагелика. Заняття 3

7. Інформація

Лесівців Віталій. Наукові досягнення 2004 року

8. Олімпіади, турніри...

Фестиваль фізики, математики та дружби

9. В допомогу абітурієнту

Половинко Ігор. Історія факультету електроніки

3

14

20

23

28

30

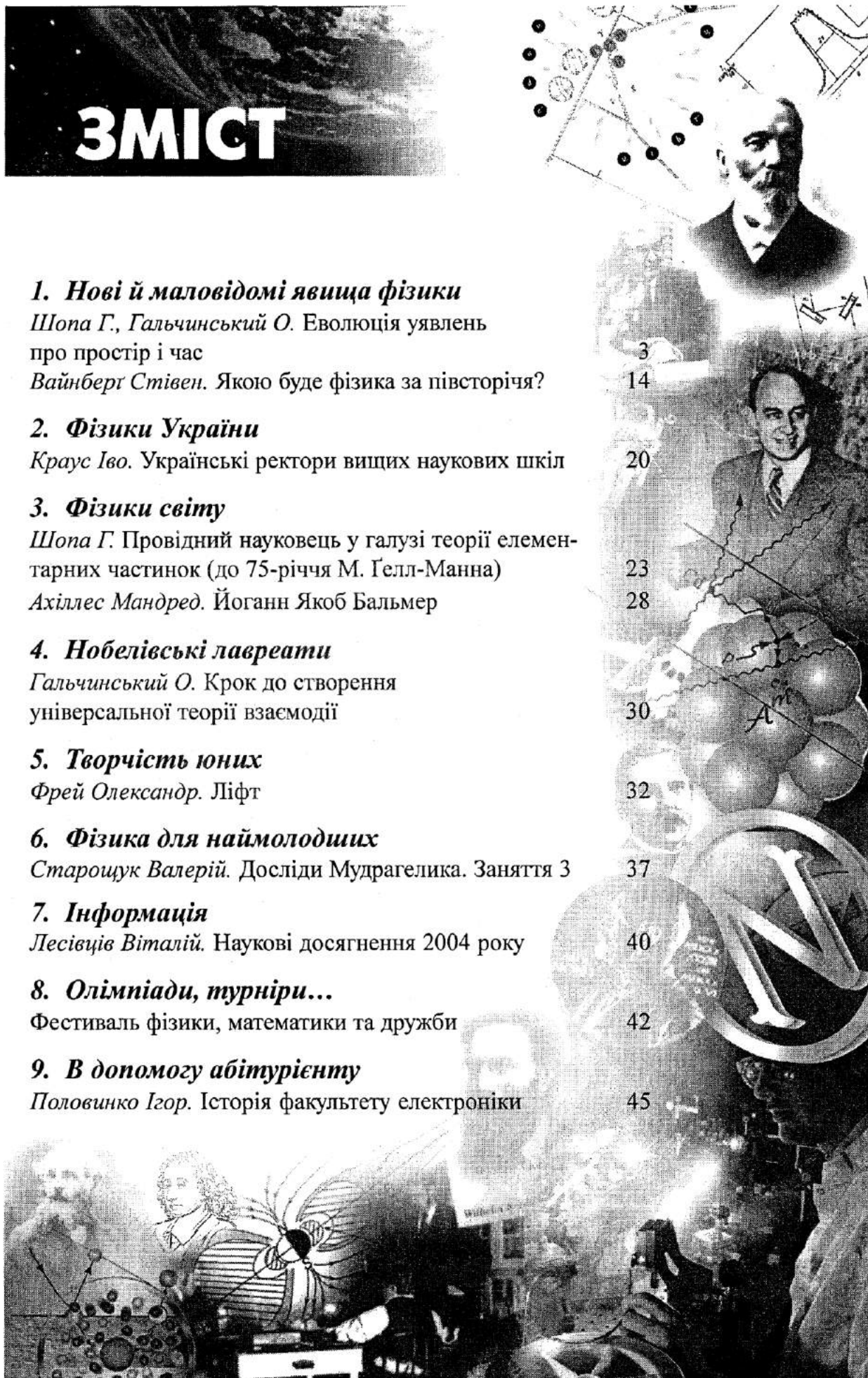
32

37

40

42

45





ЕВОЛЮЦІЯ УЯВЛЕНЬ ПРО ПРОСТІР І ЧАС

Наше сучасне уявлення про закони руху тіл йде від Галілея та Ньютона. До них існувала думка Аристотеля, який вважав, що природним станом будь-якого тіла є стан спокою, і тіло починає рухатися лише під дією сили чи імпульсу. Звідси випливало, що важке тіло має падати швидше, ніж легке, тому що воно сильніше притягується до Землі. Це врешті-решт і не суперечило життєвому досвідові.

Тому до Галілея ніхто не задумувався над тим, чи насправді тіла різної маси падають з різними швидкостями. Кажуть, що Галілей демонстрував хибність вчення Аристотеля, кидаючи тіла різної маси з похиленої Пізанської вежі. Це, мабуть, легенда, насправді Галілей робив так: він скочував по гладкому нахиленому жолобу кулі різної маси. Такий експеримент аналогічний до скидання тіл з вежі, але простіший для спостереження, оскі-

льки кулі рухаються з меншими швидкостями. Вимірювання Галілея показали, що швидкість будь-якого тіла збільшується за одним і тим самим законом незалежно від маси тіла.

В експериментах Галілея тіло, яке котилось нахиленою площиною, завжди збільшувало свою швидкість. З цього випливало, що насправді прикладена до тіла сила змінює швидкість тіла, а не зумовлює його руху, як думали раніше (Аристотель). Це ще означало, що якщо на тіло не діє сила, то воно рухатиметься по прямій з постійною швидкістю. Таку думку вперше сформулював Ньютон у книжці "Математичні начала", яка вийшла друком 1687 року. Це твердження нині називають Першим законом Ньютона. Про те, що відбувається з тілом, коли на нього діє сила, описує Другий закон Ньютона. У ньому стверджено, що, якщо на тіло діє сила, то воно буде прискорюва-



АРИСТОТЕЛЬ (384–322 рр. до н. е.) відомий давньогрецький філософ і учений народився в Стагірі. У 367–347 рр. до н. е. навчався в академії Платона в Афінах, у 343–335 рр. був вихователем сина царя Македонії Олександра, який згодом став відомим полководцем. Року 335 Аристотель повернувся до Афін, де заснував свою філософську школу.

Аристотель зібрав і систематизував здобутки своїх попередників, критично оцінив і з філософського погляду запропонував свої пояснення. У трактатах "Фізика", "Про походження і знищення", "Про небо", "Механіка" та ін. Аристотель виклав свої уявлення про природу і рух. Він логічно обґрунтував свої



тись. Прискорення тіла пропорційне до величини сили. Якщо, наприклад, сила зростає удвічі, то й прискорення збільшиться удвічі. Прискорення тіла буде менше, що більша маса (тобто кількість речовини) тіла. Наприклад, діючи на тіло вдвое більшої маси та ж сама сила зумовить удвічі менше прискорення. Те, що спостерігається під час падіння тіл в атмосфері, зумовлене дією повітря. Звичайно, свинцева гиря буде падати швидше, ніж пір'їнка, лише тому, що пір'їнка сильніше сповільнюється силою опору повітря. Якщо ж кинути два тіла, опір повітря для яких невеликий, наприклад, дві свинцеві гирки різної маси, то вони будуть падати з однаковою швидкістю. І. Ньютон вивів свої закони руху, ґрунтуючись на експериментах, які провів Г. Галілей.

Крім законів руху, Ньютон відкрив закон всесвітнього тяжіння. Цей закон стверджує: будь-яке тіло притягує інше тіло із силою, яка пропорційна до маси цих тіл. Закон тяжіння також стверджує, що гравітаційна сила взаємодії обернено пропорційна до квадрата віддалі між тілами. Цей закон Ньютона дає змогу з великою точністю передбачити траєкторії Землі, Місяця й інших планет. Якби закон всесвітнього тяжіння був інший, то сила гравітації зменшувалася б швидше, й орбіти планет були б не еліпсами, а спіралями, які сходяться до Сонця. Якби ж гравітаційне тяжіння спадало б з віддаллю повільніше, то тяжіння віддалених зір виявилось б сильнішим від тяжіння Землі.

На відміну від Галілея і Ньютона, Аристотель вважав стан спокою особливим станом, в якому завжди мало перебувати тіло, якщо на нього не діє сила чи імпульс. Аристотель, зокрема, вважав,

що Земля перебуває в стані спокою. Із законів Ньютона випливає, що єдиного еталону спокою не існує. Ви, наприклад, можете стверджувати, що тіло *A* перебуває в стані спокою, а тіло *B* рухається відносно тіла *A* з постійною швидкістю, або ж тіло *B*, навпаки, перебуває в стані спокою, а тіло *A* рухається. Якщо забути на деякий час про обертання нашої планети навколо осі й про її рух навколо Сонця, то можна сказати, що Земля перебуває в стані спокою, а деякий потяг рухається на північ зі швидкістю 90 км/год або ж цей потяг стоїть на місці, а Земля під ним біжить на південь зі швидкістю 90 км/год. Якщо б у цьому потязі хто-небудь експериментував з рухомими тілами, то з'ясував би, що всі закони Ньютона в ньому виконуються так само, як на поверхні "нерухомої" Землі. Наприклад, граючи в потязі в настільний теніс, вдалося б виявити, що траєкторія кульки не відрізняється від тієї ж траєкторії, якщо б ви грали на нерухомому столі. Тому не можна жодним експериментом визначити, що саме рухається – потяг чи Земля.

Відсутність абсолютного еталону спокою означає, що неможливо визначити, чи відбулися деякі дві події в одній і тій же точці простору, якщо відомо, що вони відбулись у різні моменти часу. Нехай, наприклад, наша тенісна кулька в рухому потязі відскакує від стола вертикально догори і, падаючи, вдаряється за секунду в тій же самій точці стола. Для того, хто стоїть поблизу залізничної колії, здалось би, що точки дотику кульки зі столом розділені віддаллю майже сорок метрів, яку проїхав потяг за час між ударами кульки об стіл. Відповідно, відсутність абсолютного стану спокою означає, що ніякій події не

пояснення, однак його підхід до явищ природи був переважно дедуктивний. Він не перевіряв своїх тверджень експериментально. Проголосивши декілька постулатів, які ніби узгоджувались з повсякденним досвідом, він зробив із них різноманітні висновки. Його головний постулат щодо фізичних явищ ґрунтувався на тому, що все навколо складається з чотирьох основних елементів – землі, води, повітря і вогню. Передбачалось, що кожний з цих елементів намагається зайняти своє природне місце: земля і вода – внизу, повітря і вогонь – вгорі. Тому камінь, який складається переважно із землі, падає, і що більший та важчий цей камінь, то більша швидкість його падіння. Подібні висновки не зіставлялись з кількісними експери-



можна приписати її абсолютного положення в просторі, як це припускав Аристотель. Положення подій в просторі й віддалі між ними є різні для спостерігача, який їде в потязі, і для спостерігача, який стоїть поряд із залізничною колією, по якій рухається потяг. Але немає жодних підстав вважати, що положенню, зафіксованому одним із цих спостерігачів, слід надати перевагу перед положенням, яке зафіксує інший.

Ньютона дуже хвилювала відсутність абсолютного положення тіл у просторі або, як його називали, абсолютного простору. Але він фактично відмовився прийняти відсутність абсолютного простору, попри те, що це випливало із законів, які він сам відкрив. Багато хто критикував Ньютона за його ірраціональну впертість, і зокрема єпископ Берклі – філософ, який вважав, що всі матеріальні об'єкти, а також простір і час – ілюзія.

І Аристотель, і Ньютон вірили в абсолютний час. Вони вважали, що часовий інтервал між двома подіями можна однозначно виміряти і що результат буде однаковим незалежно від того, хто здійснює вимірювання, лише б у того, хто буде вимірювати, був правильний годинник. Час повністю відокремили від простору і вважали його незалежним від нього. Так думала більшість, керуючись "здоровим глуздом". "Абсолютний час сам собою і з уваги не свою внутрішню природу протікає однаково незалежно до чого-небудь зовнішнього...", – писав Ньютон.

А. Айнштайн висловлював свою глибоку повагу до І. Ньютона і, зокрема, захоплювався його мужністю. Він наголошував, що Ньютон краще, ніж його критики в XVII сторіччі розумів складності, пов'язані з ідеями абсолютного простору

та абсолютного часу. Однак постулювання цих понять було тоді майже єдиним реальним способом описати рух. Ньютон розділив проблему руху на дві частини: перша – простір і час та їхня сутність (уявлення, які науковці змогли сформулювати на майже за два сторіччя); і друге – закони прискорення відносно такого ідеалізованого простору-часу – ті закони, які запропонував світові Ньютон. Уявлення Ньютона, які ґрунтувалися на "здоровому глузді", застосовні до порівняно повільних об'єктів, але вони хибні, якщо швидкості стають близькими до швидкості світла.

Те, що світло поширюється зі скінченною, хоча й дуже великою швидкістю, встановив 1676 року данський астроном Оле Христенсен Ремер. Він виявив, що моменти проходження супутників Юпітера за його диском йдуть один за одним не через рівні інтервали, як має бути, оскільки супутники обертаються навколо Юпітера з постійною швидкістю. Під час обертання Землі та Юпітера навколо Сонця відстань між ними змінюється. Ремер помітив, що затемнення супутників Юпітера більше запізнюється, що далі ми від нього перебуваємо. Він пояснив це тим, що світло від супутників йде до Землі довше, коли вона перебуває далі від Юпітера. Однак Ремер не дуже точно встановив зміну віддалі від Землі до Юпітера, і тому значення швидкості світла, яке він одержав, дорівнювало $2,25 \times 10^8$ м/с, тоді як справжнє значення швидкості світла дорівнює $2,99792458 \times 10^8$ м/с. Досягнення Ремера було видатним, оскільки він не лише довів, що світло поширюється зі скінченною швидкістю, а й виміряв її, причому це за одинадцять років до виходу книжки Ньютона "Математичні начала".

ментами. І навіть якщо результати спостережень не збігались з твердженнями Аристотеля, це не дуже турбувало його послідовників. Вони вважали, що вчення Аристотеля є "філософською істиною", оскільки воно є невід'ємною частиною складної логічної побудови, яка задовольняла їх інтелектуально та емоційно. Цю докладно вибудовану систему не могли спростувати результати окремих спостережень, які їй суперечили. Очевидно емпіричні істини ставили рангом нижче від "філософської істини".

Лише Галілео Галілей зруйнував традиції школи Аристотеля і свої висновки ґрунтував на експерименті, а не на філософії. Він уперше послідовно застосував науковий підхід.



Наукової теорії поширення світла не існувало до 1865 року, коли англійський фізик Джеймс Кларк Максвелл зумів об'єднати дві окремі взаємодії (електричну і магнетну) в єдину електромагнетну. За рівняннями Максвелла, електромагнетне поле може поширюватись у середовищі чи вакуумі з постійною швидкістю, подібно до хвиль на поверхні води. Водночас теорія Максвелла передбачила, що електромагнетні хвилі мають поширюватися з деякою фіксованою швидкістю і давала змогу розрахувати цю швидкість. Розраховане Максвеллом значення швидкості електромагнетних хвиль близько збіглося зі значенням швидкості світла. Це дало змогу зробити висновок, що світло теж електромагнетна хвиля.

Оскільки теорія Ньютона суперечила уявленням про абсолютний спокій, учені XIX сторіччя, говорячи про скінченну швидкість світлових хвиль, розуміли, що слід зазначити, відносно чого вимірюють цю швидкість. Через те й було постульовано існування деякої субстанції, яку назвали "ефіром", який заповнює все, навіть "порожній" простір. Світлові хвилі поширюються в ефірі так само, як і звукові в повітрі, а, отже, їхня швидкість – це швидкість відносно ефіру. Вважали, що спостерігачі, які рухаються відносно ефіру з різними швидкостями, мають фіксувати, що світло поширюється з різною швидкістю. А швидкість світла відносно ефіру має залишатися незмінною. Зокрема, оскільки Земля рухається в ефірі по

своїй орбіті навколо Сонця, то швидкість світла, виміряна в напрямку руху Землі (під час руху в бік джерела світла), має перевищувати швидкість світла, яку б виміряли під прямим кутом до напрямку руху (тобто, коли ми не рухаємося до джерела). Однак А. Майкельсон (згодом став першим американським Нобелівським лавреатом з фізики) 1887 року та Е. Морлі здійснили дуже точний експеримент. Науковці порівняли значення швидкості світла, виміряного в напрямку руху Землі, з її значенням, виміряним у перпендикулярному напрямку. *На велике здивування, вони виявили, що обидва значення однакові!*

Від 1887 до 1905 років було зроблено низку спроб пояснити результати експерименту Майкельсона і Морлі. Найвідоміша з яких належить нідерландському фізику Г. Лоренцу, за якою, всі об'єкти, що рухаються в ефірі, зменшуються в розмірах, а всі годинники сповільнюються свій хід. Але 1905 року нікому тоді не відомий службовець Швейцарського патентного бюро А. Айнштайн опублікував працю (яка згодом стала знаменитою), в якій було показано, що ніякого ефіру не потрібно, якщо відмовитися від поняття абсолютного часу. За декілька тижнів таку ж думку висловив один з провідних французьких математиків А. Пуанкаре. Про Айнштейна, зазвичай, говорять як про автора нової теорії (теорії відносності), а ім'я Пуанкаре пов'язують із розробленням важливої її частини.



ГАЛІЛЕО ГАЛІЛЕЙ народився 14 лютого 1564 року в Пізі. Змолodu Галілей мріяв стати художником, хоча його батьки бажали синові забезпеченіше життя і кращу долю. Вони бачили сина лікарем. Однак доля розпорядилася інакше. Медицина не дуже вабила Галілея (але згодом під час своїх експериментів він вимірював час ... за ударами пульсу). На другому курсі він потрапив на лекцію з геометрії і захопився математикою, особливо вченням Евкліда, Піфагора і Архімеда. Грунтуючись на них, Галілей зміг критично оцінити загальноприйняті тоді наукові погляди. Він кри-



Фундаментальний постулат теорії відносності полягав у тому, що закони фізики мають бути однакові для всіх спостерігачів, які вільно рухаються, незалежно від їхньої швидкості. Цей постулат був справедливий для законів Ньютона (принцип відносності Галілея), але цією теорією був поширений на теорію Максвелла, швидкість світла тощо. Швидкість світла, виміряна будь-ким із таких спостерігачів, має бути однакою незалежно від того, з якою швидкістю рухаються самі спостерігачі. Із цього простого принципу випливає низка наслідків. Найвідоміші з них: еквівалентність маси й енергії (рівняння Айнштейна $E = mc^2$, де E – енергія, m – маса, а c – швидкість світла) – закон, за яким ніщо не може рухатися швидше від світла. З уваги на еквівалентність маси й енергії, енергія, яку має рухоме тіло, має збільшити його масу. Іншими словами, що більша енергія, то важче збільшити швидкість. Правда, цей ефект важливий лише за швидкостей, близьких до швидкостей світла. Якщо, наприклад, швидкість якого-небудь тіла становить 10% від швидкості світла, то його маса лише на 0,5% більша від нормальної, тоді як при швидкості, яка дорівнює 90% від швидкості світла, маса уже вдвічі перевищує нормальну. Відповідно до того, як швидкість тіла наближається до швидкості світла, маса зростає дедалі швидше, тому для подальшого прискорення потрібно все більше і більше енергії. Насправді швидкість тіла ніколи не може досягти швидкості світла, оскільки тоді його маса

стала б нескінченно великою, а оскільки маса еквівалентна до енергії, для досягнення такої швидкості потрібна була б нескінченно велика енергія. Отже, будь-яке тіло за принципом відносності назавжди приречене рухатися зі швидкістю, яка не перевищує швидкості світла. Тільки фотони, які не мають маси "спокою", можуть рухатися зі швидкістю світла.

Другим важливим наслідком із постулату відносності – є докорінна зміна уявлень про простір і час. За уявленнями Ньютона, якщо світловий імпульс, який послали з однієї точки в іншу, то час його проходження, виміряний різними спостерігачами, буде однаковим (оскільки час абсолютний), але пройдений ним шлях може виявитися різним для різних спостерігачів (оскільки простір не абсолютний). Оскільки швидкість світла – це пройдений світлом шлях за одиницю часу, а різні спостерігачі можуть отримати різні швидкості світла. За уявленнями теорії відносності, всі спостерігачі мають погодитись з тим, що світло поширюється зі сталою швидкістю. Але якщо в них немає згоди в питанні про віддаль, яку пройшло світло, у них не має бути згоди і в тому, скільки часу поширювалось світло. З'ясувалось, що кожний спостерігач має бути свій масштаб часу, виміряний за допомогою годинника, який у нього є, і що покази однакових годинників, які є у різних спостерігачів, не обов'язково погоджуються. *Отже, теорія відносності поборолла поняття абсолютного часу!*

тично ставився до недоведених догм, хоча й загальноприйнятих. Коли на четвертому курсі йому не дали стипендії і він залишився без засобів до існування, Галілей залишив університет і почав самостійно вивчати математику й фізику. Уроки математики він брав таємно. Його батько наполіг, щоб син допомагав йому в ткацькій справі. Але, прочитавши перші праці Галілея про конструкції гідростатичних терез і про визначення центра мас твердих тіл, батько перестав перечити синові займатися математикою.

Уже за три роки Галілео Галілей одержав посаду професора математики в Пізанському університеті, де на своїх лекціях відкрито заперечував фізичні ідеї Аристотеля. Там він поставив досліди, щоб довести свої висновки. За три роки він очолив кафедру математики в Падуанському університеті, одному з найстаріших в Європі. Це був час його найбільших наукових здобутків.

У Падуї він відкрив майстерню, де створив різні механізми і прилади. Там він винайшов термоскоп (попередник термометра) і метроном. Коли Галілей дізнався про створення зорової



Будь-який спостерігач може визначити, де і коли відбулася яка-небудь подія, методом радіолокації, пославши світловий імпульс чи імпульс радіовипромінювання. Частина посланого сигналу повернеться, і спостерігач виміряє час повернення відбитого сигналу. Часом події буде половина інтервалу між посиланням сигналу та його поверненням: відстань до події дорівнює половині часу проходження туди і назад, помноженій на швидкість світла. Подія – це те, що відбувається в певній точці простору в певний момент часу. Це пояснюється просторово-часовою діаграмою, зображеною на рис. 1. Спостерігачі, що переміщуються один відносно одного, припишуть одній і тій же події різний час і різне положення в просторі. Жодне з вимірювань, які проведуть різні спостерігачі, не матиме переваг, але всі вони будуть пов'язані між собою. Кожний спостерігач може точно обчислити, який час і яке положення в просторі припише події будь-який інший спостерігач, якщо відома швидкість іншого спостерігача відносно нього.

Для точного визначення віддалі нині користуються саме таким методом, тому що час ми вміємо вимірювати точніше, ніж довжину. Навіть метр визначається як віддаль, яку світло проходить за час 0,000000003335640952 секунди, вимірний за допомогою цезієвих годинників.* Ми можемо користуватися і зручнішою новою одиницею дов-

* Саме цей час відповідає проходженню світла віддалі між двома відмітками на спеціальному платиновому стрижні, який зберігається в Парижі (еталон метра).

жини, яку називають світловою секундою. Це віддаль, яку світло проходить за одну секунду. В теорії відносності віддаль визначають через час і



Рис. 1

швидкість світла, звідси автоматично випливає, що, вимірюючи швидкість світла, кожний спостерігач отримає один і той самий результат. Нині не треба вводити ефір, відсутність якого, до речі, показав дослід Майкельсона і Морлі. Отже, теорія відносності зумовила кардинальну зміну уявлення про простір і час. Ми мусимо прийняти, що час прив'язаний до простору, тобто час та простір водночас утворюють єдине поняття, яке називають простором-часом.

Із досвіду знаємо, що положення точки в просторі можна задати трьома координатами. Можна, наприклад, сказати, що деяка точка в кім-

труби, то відразу зрозумів, як вона влаштована, і сконструював трубу з трикратним збільшенням, а за чотири місяці – з тридцятикратним. Важливо, що він уперше направив її до зір. Він побачив поверхню Місяця з високими горами і глибокими долинами та Молочний шлях (в Україні його називають Чумацький шлях). Він спостерігав фази Венери, що стало доказом обертання планет навколо Сонця. Виявив чотири "планети", які обертаються навколо Юпітера. В одному зі своїх листів Галілеєві Кеплер запропонував їх назвати "супутниками". До цього багато учених заперечували систему Коперника, тому що не могли сприйняти обертання Землі навколо Сонця. Але супутники Юпітера були доказом того, що це не лише можливо, а, радше – правило. Таке відкриття не могло не справити враження на науковців. Але невігласи говорили Галілеєві, що оскільки планети, які він виявив, не видимі простим оком, то, отже, вони й не потрібні. На подібну критику Галілей відповідав: "У цьому винна природа, а зовсім не я".



наті розташована на відстані двох метрів від однієї стіни, метр – від іншої і півтора метра від підлоги. Можемо також задати її положення, вказавши широту, довготу і висоту над рівнем моря. Можемо користуватись будь-якими іншими трьома відповідними координатами. Однак ніхто не стане, задаючи положення Місяця, вказувати віддаль у кілометрах на північ і на захід від Майдану Незалежності* й висоту над рівнем моря. Замість того можна вказати віддаль до Сонця, віддаль від площини, в якому лежать орбіти планет, і кут між прямою, яка сполучає Місяць з Сонцем, і прямою, яка сполучає Сонце з якою-небудь близькою зорею, наприклад, з альфою Центавра. Правда, не відомо чи й ці координати підходять для того, щоб задати положення Сонця в нашій Галактиці, положення її серед інших галактик, які її оточують.

Подія – це щось, що відбувається у визначеній точці простору й в певний момент часу. Відповідно, події можна характеризувати чотирма координатами. Вибір координат може бути довільним: можна взяти будь-які три координати і будь-яку міру часу. В теорії відносності немає відмінності між просторовими і часовими координатами, як немає відмінності між двома будь-якими просторовими координатами.

Чотири координати якої-небудь події можна розглядати як координати, що визначають поло-

ження цієї події в чотиримірному просторі, який називають простором-часом. Чотиримірний простір уявити собі неможливо. Але не важко зобразити графічно двовимірні простори, наприклад, поверхню Землі. (Поверхня Землі двовимірна, тому що положення будь-якої точки можна задати двома координатами – широтою і довготою). На діаграмах, які відображають простір-час, вісь часу направлена догори, а одна з просторових координат горизонтальна. Дві інші просторові координати відсутні, або одну з них зображатимемо в перспективі. (Діаграми, що зображені на рис. 2, називають просторово-часовими діаграмами). Наприклад, на рис. 2 вісь часу направлена догори

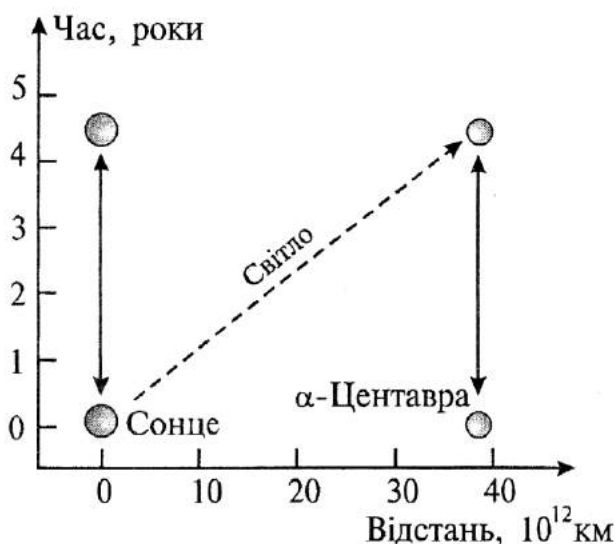


Рис. 2

*Усі віддалі в Україні відраховують від геодезичного знака, який встановлено на Майдані Незалежності в Києві.

За декілька років Ватикан заборонив друкувати книжки про геліоцентричну систему Коперника. Галілей намагався знайти незаперечні факти на підтвердження нового вчення. Його настирливі намагання довести істину зумовило те, що він сам потрапив у немилість. На суді, будучи в 70-річному віці, хворим, майже сліпим, під загрозою тортур Галілей відмовився від своїх "помилко". Та навіть після заборони видавати його книжки, після суду і вироку про пожиттєве тюремне ув'язнення, після відречення, під строгим наглядом інквізиції він встиг зробити своє останнє відкриття: явище лібрації – вібрації Місяця, завдяки якому можна спостерігати понад половину поверхні нашого супутника. У в'язниці Галілео Галілей повністю осліп і 8 січня 1642 року помер на руках свого сина, найближчих учнів та в присутності двох інквізиторів. Його поховали у Флоренції в монастирі собору Санта Кроче без почесної надгробка.



і відлік на ній ведеться в роках, а відстань від Сонця до зорі α -Центавра відкладено по горизонтальній вісі. Траєкторії Сонця і α -Центавра, які виникли з їхнім переміщенням у просторі-часі, зображені на діаграмі вертикальними лініями: перша – ліворуч, а друга – праворуч. Промінь світла від Сонця поширюється по діагоналі, і він доходить від Сонця до α -Центавра за чотири роки.

Ми вже зазначали, що рівняння Максвелла передбачають постійність швидкості світла незалежно від швидкості джерела, і ці передбачення підтверджуються точними вимірюваннями. Звідси випливає, що світловий імпульс, випущений у деякий момент часу із деякої точки простору, з часом буде поширюватися у всі боки, перетворюючись у світлову сферу, розміри і положення якої залежить від швидкості джерела. За одну мільйонну долю секунди світло утворює сферу радіусом 300 метрів; за дві мільйонні долі секунди радіуса сфери збільшиться до 600 метрів і т. д. Картина буде нагадувати хвилі на воді, які розходяться по поверхні озера від кинутого каменя. Ці хвилі розходяться, як коло, яке розширюється з часом.

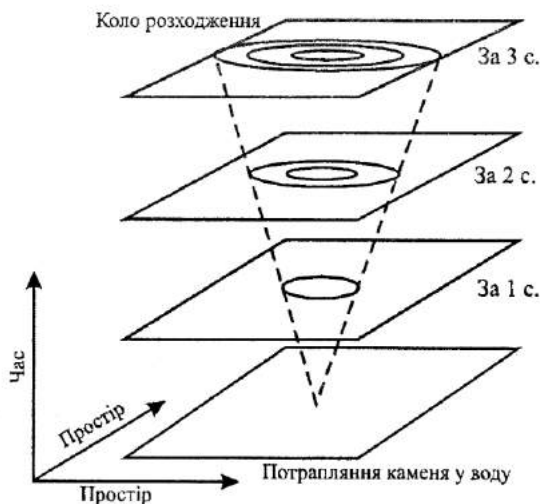


Рис. 3

Якщо уявити собі тримірну модель, два вимірювання якої на поверхні озера, а одне – вісь часу, то в такій моделі розходить по воді круг буде "слідом" конуса з вершиною, який перебуває у момент падіння каменя в тій точці на поверхні

озера, в якій камінь доторкнувся води (рис. 3). Так само світло, поширюючись від деякої події в чотиримірному просторі-часі, утворює у ньому тривимірний конус. Цей конус називається світловим конусом майбутнього для цієї події. Можна намалювати й інший конус, який називають світловим конусом минулого й представляє безліч подій, із яких світловий промінь може потрапити в точку, яка відповідає цій події (рис. 4).

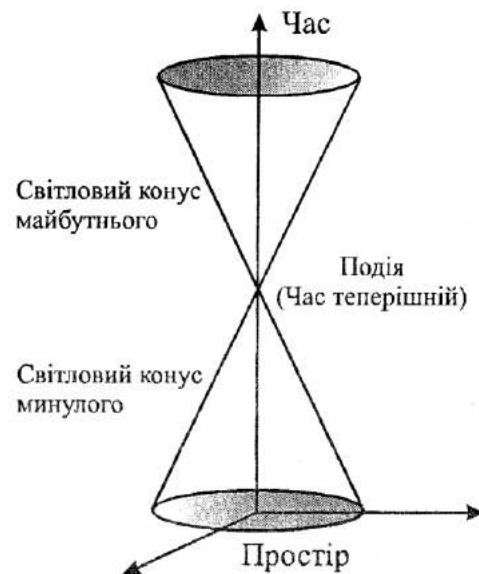


Рис. 4

Світлові конуси минулого і майбутнього для події P поділяють простір-час на три ділянки (рис. 5). Абсолютне майбутнє цієї події – це ділянка, обмежена всередині світлового конуса майбутньої події P . Це сукупність усіх подій, на які може вплинути те, що відбувається у точці P . Події, які лежать поза світловим конусом події P , недосяжні для сигналів, які йдуть з точки P , так як ніхто не може рухатися швидше від світла. Відтак на них ніяк не впливає подія, що відбувається в точці P . Абсолютна минала подія P лежить всередині світлового конуса минулого. Це безліч усіх подій, сигнали від яких, поширюючись зі швидкістю світла або з меншою швидкістю, можуть потрапити у точку P . Так у конусі минулого лежить безліч усіх подій, які можуть впливати на події в точці P . Знаючи, що відбувається в якийсь момент часу всюди у тій ділянці простору, яка обмежена світловим



конусом минулої події P , можна передбачити, що може відбутися в самій точці P . Ділянка простору, яка не лежить всередині світлових конусів мину-

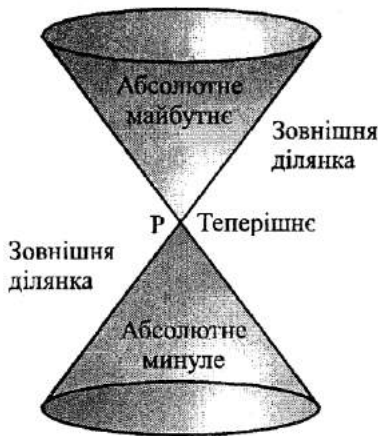


Рис. 5

лого і майбутнього, ми називатимемо зовнішньою. Події, які лежать у зовнішній ділянці, не можуть впливати на події в точці P . Якщо, наприклад, Сонце раптом перестане світити, то відразу це ніяк не вплине на життя на Землі, а дізнаємося про все це лише за вісім хвилин – час, за який світло від Сонця досягне Землі. Лише тоді події, які відбуватимуться на Землі, потрапляють у світловий конус майбутнього тієї ж точки, в якій Сонце погасло. З тієї ж причини ми не знаємо, що в цей момент відбувається далеко у Всесвіті: світло, яке дійшло до нас від далеких галактик, було випущене мільйони років назад. Це означає, що, вдивляючись у Всесвіт, ми бачимо його минуле.

Для кожної події в просторі-часі ми можемо побудувати світловий конус (це сукупність усіх можливих шляхів, по яких поширюється світло, випущене в розглянутій точці), а оскільки швидкість світла однакова для будь-якої події в будь-якому напрямку, всі світлові конуси будуть однаково орієнтовані. Це означає, що траєкторію будь-якого тіла в часі та просторі можна зобразити лінією, яка лежить всередині світлових конусів.

Спеціальна теорія відносності, яку запропонували 1905 року А. Айнштайн і Е. Пуанкаре, дала змогу пояснити постійність швидкості світла

для всіх спостерігачів (встановлено в досліді Майкельсона й Морлі) і правильно описати, що відбувається під час руху зі швидкостями, близькими до швидкості світла. Однак ця теорія суперечила теорії гравітації Ньютона, за якою тіла гравітаційно притягуються один до одного. Це означає, що, якщо зсунути одне з тіл, сила, яка діє на інше, мала б змінюватися миттєво. Інакше кажучи, швидкість поширення гравітаційних ефектів має бути нескінченною, а не дорівнювати (або бути меншою) від швидкості світла, як того вимагала теорія відносності. У 1908–1914 роках А. Айнштайн зробив низку марних спроб побудувати таку модель гравітації, яка б узгоджувалась зі спеціальною теорією відносності.

Зрештою 1915 року А. Айнштайн запропонував теорію, яку нині називають загальною теорією відносності. Він сміливо припустив, що гравітація – це не звичайна сила, а наслідок того, що простір-час не плоский, як вважали раніше, а викривлений розподіленою в ньому масою та енергією. Наприклад, рух тіл, які рухаються поблизу Землі по еліпсах, не зумовлений силою гравітаційної взаємодії. Ці тіла рухаються по лініях, які у викривленому просторі найбільше відповідають прямим у звичайному просторі й їх називають геодезичними. Геодезична пряма – це найкоротший (або

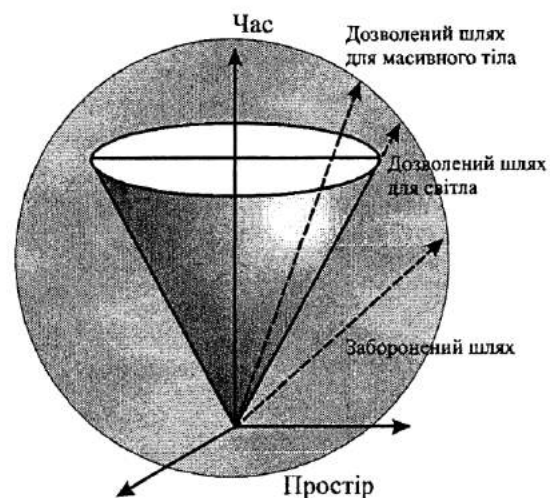


Рис. 6



найдовший) шлях між двома сусідніми точками. Наприклад, поверхня Землі є викривленим дво-мірним простором. Геодезичною на Землі (найкоротшим шляхом) є великий круг, який проходить через ці точки. Оскільки найкоротший шлях між двома аеропортами проходить по геодезичній, пілоти ведуть літаки саме таким маршрутом.

Маса Сонця так викривлює простір-час, що, хоча Земля рухається по прямій в чотиримірному просторі, ми бачимо, що в нашому тримірному просторі вона рухається по колові орбіті. Орбіти планет, передбачені загальною теорією відносності, майже збігається з передбаченнями теорії тяжіння Ньютона. Однак Меркурій, який, будучи найближчою до Сонця планетою, відчуває сильнішу дію гравітації і має досить витягнуту орбіту. Для орбіти Меркурія загальна теорія відносності передбачає, що велика вісь еліпса має повертатися навколо Сонця майже на градус за десять тисяч років. Цей ефект, незважаючи на його малість, зауважили ще до 1915 року, і його розглядали як одне з підтверджень теорії Айнштейна. Згодом радіолокаційним методом виявили також подібне відхилення орбіт інших планет, і вони теж узгоджуються з передбаченнями загальної теорії відносності.

Викривлення простору означає, що світло також поширюється по геодезичних, а не прямо-лінійно. Отже, за загальною теорією відносності, промінь світла має відхилитись у гравітаційних полях, і, наприклад, світлові конуси точок, які є поблизу Сонця, мають бути трохи деформовані під дією маси Сонця. Це означає, що промінь світла від далекої зорі, який проходить поряд із Сонцем, має відхилитися на невеликий кут, і спостерігач, який перебуває на Землі, побачить цю зорю в іншій точці (рис. 7). Звичайно, якщо б світло від цієї зорі завжди проходило поряд із Сонцем, ми не могли б сказати, чи відхиляється промінь світла, чи ця зоря справді є там, де ми її бачимо. Але внаслідок обертання Землі все нові зорі заходять за сонячний диск, і їхнє світло відхиляється. У результаті їхнє видиме положення відносно решти зір змінюється.

За нормальних умов цей ефект дуже важкий для спостереження, оскільки яскраве сонячне світло не дає змоги бачити зорі, які розміщені на небі поряд з Сонцем. Однак це можливо під час сонячного затемнення, коли Місяць перекриває сонячне світло. У 1915 році ніхто не зміг відразу перевірити передбаченого Айнштейном відхилення світла, тому що була Перша світова війна. Лише 1919 року англійська експедиція в Західній Африці, спостерігаючи сонячне затемнення, встановила, що світлові промені справді відхиляються Сонцем так, як і передбачала теорія. Те, що анг-

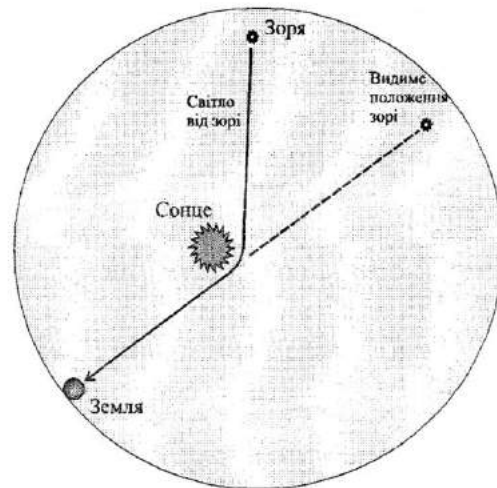


Рис. 7

лійські науковці довели правильність теорії, батьківщиною якої була Німеччина, вітали тоді як ще один великий акт примирення обох країн після війни. Проведений згодом аналіз фотографій, отриманих цією експедицією, показав похибки вимірювання того ж порядку, що й вимірюваний ефект (рис. 7). Результат англійців був або просто щасливим випадком, або тим нерідким у науці випадком, коли отримують те, що хотіли отримати. Правда, відхилення світла Сонцем було згодом точно підтверджено низкою інших спостережень.

Ще одне передбачення загальної теорії відносності полягає в тому, що поблизу масивного тіла, наприклад, такого як Земля, час має протікати повільніше. Це впливає з того, що має виконува-



тися певне відношення між енергією світла і його частотою: що більше енергія, то вище частота. Якщо світло поширюється догори у гравітаційному полі Землі, то воно втрачає енергію, його частота зменшується. Спостерігачеві, розміщеному на великій висоті, має здаватися, що внизу все проходить повільніше. Це передбачення було перевірено 1962 року за допомогою двох дуже точних годинників, розміщених на верху та біля підніжжя високої вежі. З'ясувалось, що покази цих годинників відповідали загальній теорії відносності. Відмінність у показах годинників на різній висоті над поверхнею Землі має нині велике практичне значення через появу дуже точних навігаційних систем, які працюють за радіосигналами із супутників. Якщо не враховувати загальної теорії відносності, то координати, розраховані цим методом будуть з помилкою в декілька кілометрів!

Міжнародний колектив фахівців НАСА й університетів США та Італії знайшли пряме підтвердження ще одного ефекту загальної теорії відносності. Цей ефект – захоплення Землею, яка обертається, простору-часу навколо себе. Зокрема науковці проаналізували зміни орбіт двох супутників LAGEOS I і II, які були запущені в космос 1976 і 1992 р. Орбіти цих супутників відстежували методами лазерної локації, завдяки чому можна було обчислити їх положення з високою точністю. Проаналізувавши дані за одинадцять років, науковці обчислили, що орбіта супутників зміщувалась на два метри за рік у напрямку обертання Землі. Отримані зміщення на 99 % відповідають передбаченням загальної теорії відносності. До речі, у квітні 2004 року в космос був запущений американський супутник Gravity Probe B, який має перевірити ефект закручування простору-часу завдяки обертанню планети. Цей новий апарат, як зазначають дослідники, має зробити це з набагато більшою точністю.

Закони руху Ньютона відкинули поняття абсолютного простору, але до 1915 року простір і час сприймалися як деяка арена, на якій все відбува-

ється, і ніяк на неї не впливає. Тіла рухались, притягались і відштовхувались, але час і простір залишались самі собою. Це їх не торкалось. І було природно думати, що простір і час нескінченні та вічні!

Загальна теорія відносності розглядає це інакше. Простір і час – це динамічні величини. Якщо рухається тіло чи діє сила, це змінює кривизну простору-часу, а структура простір-час своєю чергою впливає на те, як рухаються тіла й діють сили. Простір-час не лише впливає на все, що відбувається у Всесвіті, а й сам змінюється під впливом усього, що там відбувається. Як без поняття простір-час не можна говорити про події у Всесвіті, так і у загальній теорії відносності немає сенсу говорити про простір-час за межами Всесвіту.

Це нове розуміння простору й часу зумовило зміни в наших поглядах на Всесвіт. Старе уявлення про незмінний Всесвіт, який завжди існував й існуватиме вічно, замінилось поняттям, що Всесвіт розширюється. Він, очевидно, виник колись у минулому і, можливо, закінчить своє існування колись у майбутньому.

*Насправді все зовсім інакше,
ніж "насправді".*

Антуан де Сент-Екзюпері

Література

- [1] Тейлор Э. Ф., Вілер Дж. А. Физика пространства-времени. – М.: Мир, 1971. – 320 р.
- [2] Дубровский В. Н., Молчанов Ю. Б. Самоорганизация пространства-времени в процессе эволюции Вселенной //Сб. Астрономия и современная картина мира. – М., 1996.
- [3] <http://www.sciam.com/0796issue/0796hawking.html>.
- [4] Стивен Хокинг. Краткая история времени от большого взрыва до черных дыр.

Огляд підготували

Галина Шопя та

Олександр Гальчинський



ЯКОЮ БУДЕ ФІЗИКА ЗА ПІВСТОРИЧЧЯ ?

Стівен Вайнберг

Одне з головних завдань фізики – це збагнути чудове розмаїття природи єдиним способом. Найбільші наукові досягнення минулого були кроками до цієї мети: об'єднати земну й небесну механіку прагнув І. Ньютон у XVII сторіччі; оптику з теорією електромагнетизму – Дж. Максвелл у XIX сторіччі; геометрію простору-часу з гравітацією – А. Айнштайн у 1905–1916 рр.; а також хемію та атомну фізику в квантовій механіці у 1920-х роках.

Останні 30 років свого життя А. Айнштайн присвятив пошукові „єдиної теорії поля”, яка б об'єднала загальну теорію відносності (його власну теорію простору-часу і гравітації) з теорією електромагнетизму. Крок до об'єднання було зроблено згодом, але в іншому напрямі. Сучасна теорія елементарних частинок і взаємодій, відома як Стандартна модель фізики елементарних частинок, досягла об'єднання електромагнетизму із слабкими взаємодіями. Стандартна модель, ґрунтуючись на польових уявленнях, дає також опис сильної взаємодії, яка утримує кварки всередині протонів і нейтронів, а протони і нейтрони разом у атомних ядрах.

В об'єднаній теорії доводиться мати справу з квантовим характером простору і часу. У ділянці надмалих відстаней, простір може бути представлений безперервною структурою, з'єднаних

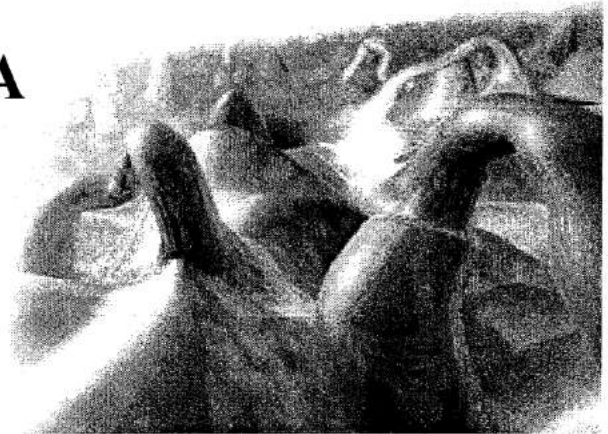


Рис. 1

між собою струн і мембран, або чим-небудь іншим, донині ще невідомим (рис. 1).

Є ідеї щодо того, як теорію сильних взаємодій можна об'єднати з теорією електрослабких взаємодій (об'єднана теорія слабкої та електромагнетної взаємодії). Таке об'єднання часто називають Великим об'єднанням, але таким воно буде справедливим лише тоді, якщо до цих взаємодій долучити гравітацію. Це – найважче завдання. Можливо очевидні відмінності цих взаємодій обумовлені деякими подіями на початковій стадії Великого вибуху, а дослідження деталей такої ранньої космічної історії вимагає відповіднішої теорії гравітації та інших взаємодій. Однак існує ймовірність, що працю над Великим об'єднанням вдасться завершити до 2050 року, але навряд чи можна говорити про це впевнено.

Стандартна модель – це квантово-польова теорія, основні об'єкти якої – поля, серед них електричні й магнетні також. Коливання таких полів переносять енергію та імпульс з однієї ділянки простору в інше.



Стівен Вайнберг народився 3 травня 1933 року в Нью-Йорку. Його раннє зацікавлення наукою стимулювали батьки та школа, де одним з його вчителів був Шелдон Л. Глешоу. До шістнадцяти років інтереси Вайнберга привели його до проблем теоретичної фізики.

Стівена Вайнберга нагородили Нобелівською премією з фізики 1979 року „за внесок в об'єднану теорію слабких й електромагнетних взаємодій між елементарними частинками, а також за передбачення слабких нейтральних струмів”. Він працює професором теоретичної фізики в Техаському університеті в Остіні (США). Його книжка „Перші три хвилини” стала класикою науково-популярного викладу теорії Великого вибуху, сучасного погляду на народження Всесвіту. Серед інших книжок С. Вайнберга „Теорія субатомних частинок” і „Гравітація і космологія: основи і доповнення до загальної теорії відносності”, „Мрії про остаточну теорію”.



Квантова механіка стверджує, що ці хвилі формують хвильові пакети, або кванти, які можна спостерігати як елементарні частинки. Зокрема квант електромагнетного поля – відомий нам фотон.

Стандартна модель для кожного типу елементарних частинок, які спостерігають в експериментах за високих енергій, розглядає свої поля. Наприклад, є лептонні поля, кванти яких – знайомі нам електрони, що перебувають на зовнішніх оболонках звичайних атомів, важчі частинки, відомі як μ -мезони і τ -мезони, а також відповідні їм електрично нейтральні частинки, відомі як нейтрино (рис. 2, а). Є також поля для кварків різних типів, з яких складаються протони і нейтрони – складники ядра звичайних атомів. Сили між цими частинками обумовлені процесами обміну фотонами і частинками W^+ , W^- і Z^0 , які передають слабкі взаємодії, а також вісьмома типами глюонів – носіїв сильної взаємодії (рис. 2, б). До того ж, одна або більша кількість частинок або полів Гігса, які породжують маси інших полів (рис. 2, в).

Ці частинки мають широкий діапазон мас, і в цьому прихована, поки що невідома, закономірність, чому електрон у 350000 разів легший від найважчого кварка, а нейтрино ще легше від електрона. Стандартна модель не дає нам змоги розрахувати будь-яку з цих мас доти, поки ми не введемо в неї додаткових скалярних полів. Термін "скаляр" означає, що ці поля не чутливі до напрямку в просторі, на відміну від електричних, магнетних й інших полів Стандартної моделі. Це відкриває змогу таким полям заповнювати увесь простір, що не суперечить одному з принципів фізики, за яким всі просторові напрямки однаково рівноправні. (Навпаки, якби наприклад, було нену-

льове магнетне поле усюди в просторі, то ми могли ідентифікувати певний напрямок, використовуючи звичайний компас). Взаємодія інших полів Стандартної моделі з усепроникними скалярними полями, як вважають, надає масу частинкам Стандартної моделі.

Об'єднання різноманітних явищ в єдину теорію вже тривалий час є актуальним завданням фізики. Стандартна модель успішно описує три з чотирьох взаємодій, відомих науці (електромагнетизм, слабкі й сильні взаємодії), але попереду ще об'єднання із загальною теорією відносності, яка описує гравітацію і природу простору-часу.

Головні досягнення фундаментальної фізики зближуються, коли принципи різних теорій узгоджуються в межах нової єдиної теорії. Поки що нам не відомий принцип, що лежить в основі об'єднання квантової теорії поля із загальною теорією відносності.

Щоб закінчити Стандартну модель, ми маємо підтвердити існування скалярних полів і з'ясувати, скільки їх існує. Це проблема пошуку частинок, які називають бозонами Гігса, що є квантами цих полів. Ми маємо достатньо підстав сподіватись, що це відкриття буде здійснено до 2020 року, оскільки прискорювач (його називають Великим адронним колайдером) Європейської лабораторії фізики елементарних частинок (ЦЕРНу) працюватиме для цього понад десять років.

Щонайменше, має бути знайдена хоч одна електронейтральна скалярна частинка. Буде "катастрофою", якщо ж до 2020 року її не знайдуть. Це залишить нас без ключа до розуміння величезної загадки щодо характерних енергій, які трапляються у фізиці, відомої як проблема ієрархії.

Найважча з відомих частинок Стандартної моделі – t -кварк, з масою 175 ГеВ (1 ГеВ – енергія трохи більша ніж та, що міститься в протонній

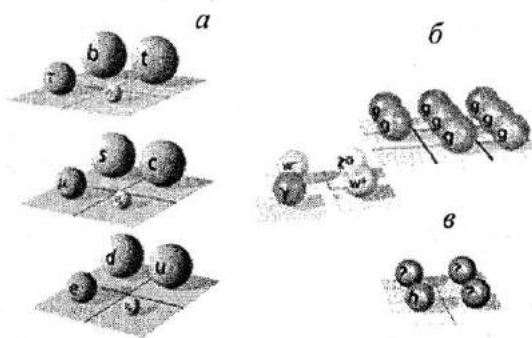


Рис. 2

Об'єднання

Електрика	Електромагнетизм	Електро-слабка взаємодія	Стандартна модель	?
Магнетизм				
Світло	Слабка взаємодія			
Бета-розпад				
Нейтрино				
Протони	Сильна взаємодія			
Нейтрони				
Піони	Універсальна взаємодія	Загальна теорія відносності		
Земне тяжіння				
Небесна механіка				
	Геометрія простору-часу			



масі). Ще не знайдені частинки Гігса, як очікується, матимуть маси, від однієї до декількох сотень GeV. Але є підстава вважати, що шкала мас, яка з'являтиметься в рівняннях ще не сформульованої об'єднаної теорії, буде набагато більшою. У Стандартній моделі взаємодії полів глюонів, *W*-бозонів, *Z*-бозонів і фотонів з іншими полями цієї моделі мають різну інтенсивність. Саме тому взаємодії, зумовлені обміном глюонами, майже у 100 разів сильніші, ніж інші за звичайних умов. Гравітація – значно сильніша від слабкої взаємодії: величина сили тяжіння між електроном і протоном в атомі водню – становить майже 10^{-39} від сили електричної взаємодії.

Однак величини взаємодії залежать від енергії, за якої вони виміряні. Характерно, що, коли взаємодії полів Стандартної моделі екстраполювати на ділянку високих енергій, вони всі стають рівними за енергій трохи більших від 10^{16} GeV, а сила гравітації має таку ж саму величину за енергій не набагато вищих від 10^{18} GeV. (Запропоновані уточнення в теорії гравітації свідчать, що величина сили гравітації може зрівнятися з іншими силами вже за 10^{16} GeV.) Ми звикли до досить широкого діапазону мас у фізиці елементарних частинок, майже від 1 до 350000 мас електрона, наприклад, для *t*-кварка. Але це ніщо порівняно з величезним відношенням фундаментальної шкали енергії Великого об'єднання 10^{16} GeV (або можливо 10^{18} GeV) до енергетичної шкали, типової для Стандартної моделі (майже 100 GeV). Основне завдання проблеми ієрархії – пояснити це величезне співвідношення, цей гігантський стрибок від одного рівня до наступного в послідовності енергетичних шкал, причому це відношення має бути не резуль-

татом зміни констант у наших рівняннях, а природним наслідком фундаментальних принципів.

Теоретики запропонували декілька цікавих ідей для природного розв'язання проблеми ієрархії, включаючи новий принцип симетрії відомий як суперсиметрія (який також підвищує точність, з якої сили взаємодій зближуються при 10^{16} GeV), або нова сильна взаємодія, відома як кольорова. Ці теорії містять додаткові сили, які поєднані з сильними, слабкими та електромагнетними силами за енергій майже 10^{16} GeV. Нові взаємодії переважають енергії набагато нижчі від 10^{16} GeV, але ми не можемо їх спостерігати безпосередньо, оскільки вони не діють на відомі частинки Стандартної моделі. Натомість вони діють на інші частинки, які дуже масивні, щоб ми могли їх отримати на наших прискорювачах. Це "дуже важкі" частинки (проте набагато легші, ніж 10^{16} GeV) через те, що вони отримують свою масу з енергії нової взаємодії. У цьому випадку відомі частинки Стандартної моделі взаємодіяли б з найважчими частинками, і їхні маси виникнуть як вторинний ефект цієї слабкої взаємодії. Цей механізм розв'язав би проблему ієрархії, роблячи відомі частинки легшими, ніж найважчі частинки, які самі набагато легші від 10^{16} GeV.

В експериментах, які використовують енергію майже до 200 GeV, реєструють низку частинок, маси й енергії взаємодії яких досить добре описані Стандартною моделлю. Загадкою для нас є широкий проміжок між двома наступними енергетичними діапазонами, а саме об'єднання сильної та електрослабкої взаємодії (10^{16} GeV) і планківської енергії, характерної для квантової гравітації (10^{18} GeV) (рис. 3).

Утім ці ідеї мають єдину ваду: вони потребують існування різноманітних нових частинок з масами майже 1000 GeV. Якщо в цих ідеях є хоч частка істини, то ці частинки мають знайти до 2020 року на Великому адронному колайдері, а деякі з них, можливо, навіть і швидше, в лабораторії імені Фермі або ЦЕРНі. Можливо, що для цього може знадобитися понад десятиріччя і нові прискорювачі, щоб вичерпно дослідити їхні властивості. Коли ці частинки буде знайдено і їхні властивості досліджено, ми зможемо дізнатись, чи пережила яка-небудь з них ранні моменти Великого вибуху, щоб нині стати "темною матерією" в міжгалактичному просторі, яка, як вважають, є

Головні досягнення

Квантова механіка: корпускулярно хвильовий дуалізм, суперпозиція, ймовірність	Квантова теорія поля: віртуальні частинки, перенормування	?
Спеціальна теорія відносності: геометрія простору-часу, відносність руху	Загальна теорія відносності: принцип еквівалентності, динаміка простору-часу	
Ньютонівська механіка: універсальна гравітація, сила і прискорення		



основною частиною маси Всесвіту. В усякому разі, здається вірогідним, що до 2050 року ми зрозуміємо, в чому причина такого широкого діапазону енергетичної шкали.

Що буде далі? Не має фактично ніякого шансу, що ми зможемо провести експерименти, в яких ми вивчали б процеси за енергій частинок 10^{16} GeV. В чинних технологіях діаметр прискорювача пропорційний до енергії, наданої прискореним частинкам. Щоб розігнати частинки до енергій 10^{16} GeV, потрібно було б мати прискорювач діаметром у декілька світлових років. Навіть, якщо хтось і знайшов би якийсь інший спосіб сконцентрувати таку величезну кількість енергії на окремі частинки, то буде дуже важко вилучити корисну інформацію зі спостережень над процесами за таких енергій. Але навіть, якщо ми не можемо безпосередньо вивчати процеси за енергій порядку 10^{16} GeV, маємо дуже добрий шанс, що ці процеси спричиняють ефекти за доступних енергій, які можуть бути зафіксовані експериментально.

Стандартна модель – це квантова теорія поля спеціального виду, а саме "перенормована" теорія. Цей термін започатковано в 40-х роках ХХ сторіччя, коли фізики вчилися застосовувати перші квантово-польові теорії для обчислення тонкої структури атомних рівнів. Таке перенормування, зазвичай, означає, що теорія або спотворена, або поза межами свого застосування. Утім науковці запропонували спосіб застосування нескінченних величин – включити їх за допомогою перенормування в деякі фізичні константи, такі як заряд чи маса електрона. (Мінімальна версія Стандартної моделі з одною скалярною частинкою має вісімнадцять констант). Теорії, у яких цю процедуру застосовували, називають перенормованими, і вони мають простішу структуру, ніж неперенормовані теорії.

Така перенормована Стандартна модель дає змогу отримати точні кількісні передбачення експериментальних результатів. Саме успіх цих передбачень підтвердив істинність цієї теорії. Зокрема, принцип перенормування разом з принципами симетрії Стандартної моделі забороняє такі процеси, як розпад ізольованих протонів та, те, щоб нейтрино мало масу. Фізики зазвичай мали звичку припускати, що квантова теорія поля, що відноситься до реальності, має бути перенормована. Цей принцип був головним у формулюванні Стандартної моделі. І той факт, що за фундаментальними причинами, неможливо було сформулювати перенормовану квантову теорію гравітації, вселяв у теоретиків велику тривогу.

Сьогодні ж стан справ змінився. Різні теорії в фізиці елементарних частинок розрізняють залежно від енергії, розглянутих процесів і реакцій. Взаємодія, обумовлена обміном дуже масивної частинки, буде надзвичайно слабкою за низьких енергій порівняно з тією масою. Й інші ефекти також можуть бути подібно подавлені. Така ділянка низьких енергій розглядається у ефективній теорії поля, в якій ці взаємодії незначні. Теоретики зрозуміли, що будь-яка фундаментальна квантова теорія, сумісна зі спеціальною теорією відносності, перетворюється за низьких енергій в теорію перенормування. Але хоча нескінченності все ще не допускаються в теорії, ці ефективні теорії не мають простої структури класичної теорії перенормування. Замість того, щоб повністю вилучити додаткові складні взаємодії, їх зменшують у ділянці енергій, нижчій від деякого характерного енергетичного порогу.

Гравітація є саме такою зменшеною неперенормованою взаємодією. Від її сили (чи правильніше слабкості) за низьких енергій ми робимо висновок, що її фундаментальна енергетична



Рис. 3



шкала – майже 10^{18} GeV. Інша зменшена неперенормована взаємодія зробила б протон нестабільним з періодом напіврозпаду в діапазоні від 10^{31} до 10^{34} років, який, можливо, не вдалося б зафіксувати навіть і до 2050 року. Інша ж зменшена неперенормована взаємодія надала б нейтрину маленькі маси, майже 10^{-11} GeV. Уже нині є деякі підтвердження, що маси нейтрини мають саме такий порядок. Остаточного це завдання буде з'ясоване ще задовго до 2050 року.

Що ж далі? Є декілька шляхів об'єднання взаємодій, які перебувають поза Стандартною моделлю. Теорії, які представляють нові взаємодії, подібно до "кольорової" сили, яка пов'язує кварки (рис. 4, а). Як наслідок цього – поява нових поколінь частинок, відмінних від трьох відомих. Суперсиметрія, яка зв'язує ферміони з бозонами, додаючи до кожної відомої частинки суперсиметричного партнера (рис. 4, б). М-теорія і теорія струн видозмінює повну модель у термінах нових об'єктів таких як струни, петлі й мембрани, що діють подібно до частинок за низьких енергій (рис. 4, в).

Такі дослідження будуть дуже корисні для створення об'єднаної теорії всіх взаємодій, але створення цієї теорії, напевно, не можливе без появи радикально нових ідей. Деякі з них уже висунуто і їх обговорюють. Є п'ять різних теорій маленьких одномірних об'єктів відомих як струни, різні моди коливань, яких виявляються за низької енергії як різні види частинок. Є теорія гравітації та інших сил у 10-мірному просторі-часі. Звичайно, ми не живемо у 10-тимірному, але напевно, що шість із цих вимірювань можуть бути згорнуті настільки сильно, що вони не спостерігаються в процесах за енергій нижчих від 10^{16} GeV, які припадають на одну частинку. Ясність у всьому з'явилась лише за останні декілька років, коли з'ясувалось, що ці п'ять струнних теорій (а також квантова теорія поля в 11-ти вимірах) – не що інше, як наближені версії єдиної фундаментальної теорії (яку деколи називають М-теорією). Але поки що ніхто ще не знає, як записати рівняння цієї теорії.

Дві великі перешкоди стоять на шляху до розв'язання цієї задачі. Одна – це те що, ми не знаємо, які фізичні принципи керують такою фундаментальною теорією. В розробленні загальної теорії відносності Айнштайн керувався принципом, який він вивів із відомих властивостей гравітації, – принципом еквівалентності сил тяжіння та сил інерції. Розвиток

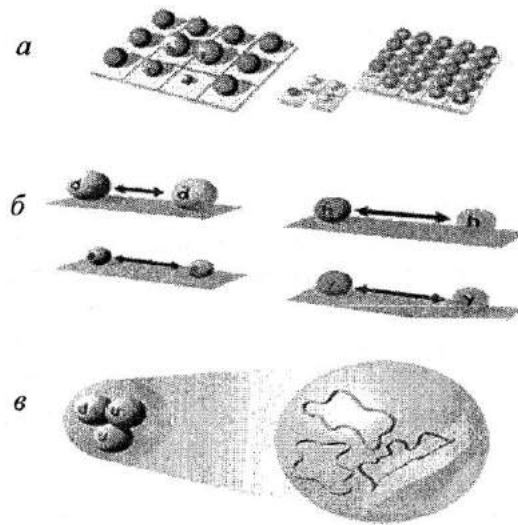


Рис. 4

Стандартної моделі виходив із принципу калібрувальної симетрії, який є узагальненням відомих електричних властивостей, яка полягає в тому, що фізичний зміст має лише різницю потенціалів, але не сам потенціал безпосередньо.

Але поки що не виявлений який-небудь фундаментальний принцип, виходячи з якого, можна було б побудувати М-теорію. Різні апроксимації до цієї теорії нагадують струнні чи польові теорії в просторі-часі різної розмірності, але можливо, що нову фундаментальну теорію загалом не будуть формулювати у термінах простору-часу. Квантова теорія поля дуже сильно обмежена принципами, які лежать в основі природи чотиримірного простору-часу, які долучені до спеціальної теорії відносності. Невідомо, як ми можемо отримати ідеї, потрібні для правильного формулювання нової фундаментальної теорії, якщо ця теорія має описувати ділянку, де всі інтуїтивні уявлення, які ми одержали із життя в просторі-часі, будуть непотрібними?

Константи взаємодій не залишаються сталими, а змінюються залежно від енергії. Цей процес описаний квантовою теорією поля і перевірений експериментом майже до 200 GeV. Екстраполяція показує, що три взаємодії Стандартної моделі (сильна та об'єднані слабка й електромагнетна) мають майже однакову інтенсивність за дуже високих енергій (рис. 5, а), а з урахуванням суперсиметрії ця рівність стає точнішою (рис. 5, б).

Інша перешкода полягає в тому, що, навіть якщо ми були здатні сформулювати фундамен-



тальну теорію, ми не могли б знати, як її використовувати, щоб робити передбачення, які підтверджують її правильність. Більшість успішних передбачень Стандартної моделі ґрунтувались на розрахунках, відомих, як теорія збурень. У квантовій механіці ймовірність фізичних процесів обчислюють сумуванням за всіма можливими послідовностями проміжних етапів, через які може проходити процес. Використовуючи теорію збурень, на початку розглядають лише найпростіші проміжні етапи, далі складніші і т. д. Цей метод працює лише тоді, коли все складніші й складніші проміжні етапи дають все менші внески в ймовірність. Це, зазвичай, спостерігається тоді, коли константа зв'язку досить мала. Деколи теорія з дуже сильною взаємодією еквівалентна до іншої теорії з дуже слабкими взаємодіями, в якій застосовні методи теорії збурень. Таке відношення еквівалентності справедливе для деяких пар із п'яти струнних теорій у 10-ти вимірах і теорії поля в 11-ти вимірах, які згадані раніше. Однак взаємодія фундаментальної теорії, очевидно, не дуже сильна, і не дуже слабка, що не дає змоги використовувати теорію збурень.

Ми не можемо нині сказати, коли буде розв'язано ці проблеми. Може з'ясуватися, що вони будуть розв'язані в праці, яку напише завтра, який-небудь молодий теоретик. А може з'ясуватися, що вони не будуть розв'язані і 2050, або навіть і до 2150 року. Навіть тоді, коли вони будуть розв'язані, доки ми не зможемо провести експериментів за енергій 10^{16} GeV, нас не хвилюватиме проблема перевірки істинності фундаментальної об'єднаної теорії. Окрім перевірки того, чи правильно теорія пояснює вимірювання значень фізичних сталих Стандартної моделі. Майбутні експерименти мають виявити нові ефекти, які не передбачені в Стандартній моделі.

Напевно, коли ми нарешті зрозуміємо, як ведуть себе частинки і взаємодії за енергій до 10^{18} GeV, ми лише зіткнемось з новими таємницями, і до остаточного об'єднання ми будемо може значно далі, ніж коли-небудь до цього. Однак я сумніваюсь щодо цього. Поки що немає ніяких натяків на те, що фундаментальна енергетична шкала простягається далі 10^{18} GeV, а теорія струн навіть передбачає, що вищі енергії не мають фізичного змісту.

Відкриття об'єднаної теорії, яка б описувала природу за будь-яких енергій, дасть нам змогу відповісти на найглибші питання космології:

Чи має сукупність галактик, які розширюються, початок у часі?

Чи є Великий вибух лише одним з епізодів історії Всесвіту, в якій великі та малі вибухи відбуваються вічно?

Чи змінюються фізичні константи чи навіть закони природи від одного вибуху до іншого?

Відповіді на ці запитання не буде кінцем фізики. Це, напевно, навіть не допоможе нам розв'язати деякі ще не з'ясовані проблеми сучасної фізики, такі як розуміння турбулентності та високо-температурної надпровідності. Але це буде кінцем певного етапу розвитку фізики, а саме пошуку об'єднаної теорії.

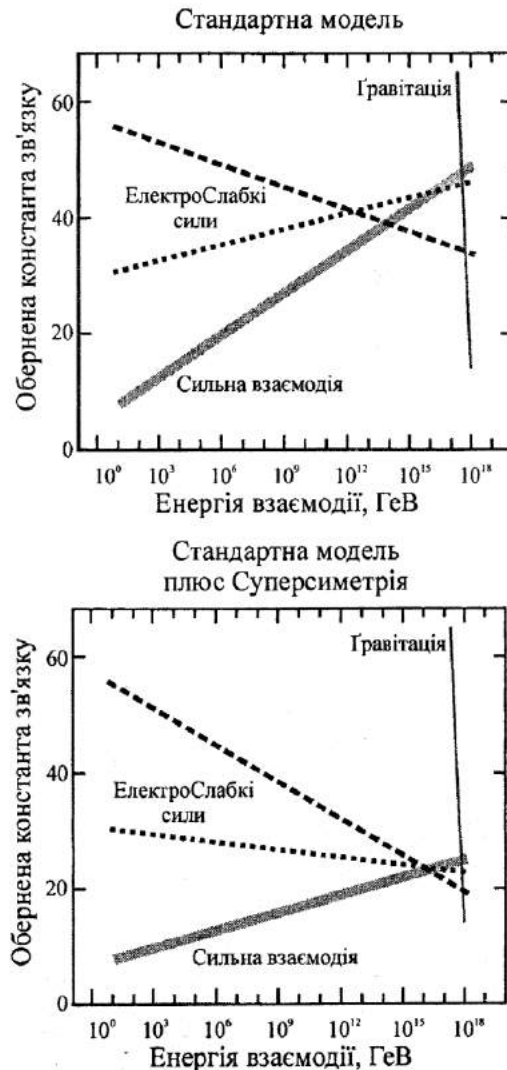
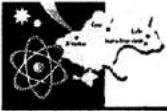


Рис. 5



До 160-річчя від дня народження
Івана Пулюя

УКРАЇНСЬКІ РЕКТОРИ ПРАЗЬКИХ ВИСОКИХ ШКІЛ

Іво Краус

професор Чеського технічного університету в Празі

Хоча вплив економічної еміграції для гостинної країни може бути проблематичним, релігійні чи політичні емігранти приносять духовне світло цій країні за подану руку допомоги часто віддячують усім життям, науковою працею та громадянською активністю.

Українська Прага

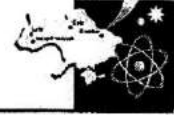
Одна з глав наповнення гуманістичних ідеалів в історії середньоевропейських міграційних рухів має назву Українська Прага. Вона виникла наприкінці позаминулого сторіччя передусім із представників галицької інтелігенції, які знайшли в Чехії кращі умови для праці та існування, ніж у Відні. Уже 1883 року прийшов до Праги у Карловий університет Іван Горбачевський, а за рік у Німецький технічний інститут – його співвітчизник Іван Пулюй.

Більше відомий з енциклопедичних джерел як Ян (Jan) (або Johann) Горбачевський. У цьому немає нічого дивного, оскільки село Зарубинець Тернопільської області, де 1854 року він народився, належало колись до Польщі. Зауважмо, однак,

що йдеться про чеського лікаря. Прославлений у світі науковець, засновник Закладу для медичної хімії при Карловому університеті, І. Горбачевський жив у Празі 59 років. Він був деканом медичного факультету, а 1902–1903 рр. – ректором Карлового університету. До його дуже добрих приятелів належав і Т. Г. Масарик. Обидва були одного віку і в однаковий період почали працювати в Карловому університеті. Після 1918 року лише І. Горбачевський смів, крім, як кажуть, Карела Чапека, прийти у Град до президента без попередження. Як і Масарикові, вік не був йому на заваді до наукової, педагогічної та громадської діяльності. Коли наприкінці Першої світової війни уряд Австро-Угорщини заснував міністерство охорони здоров'я, вести підготовчу роботу доручили 63-річному Іванові Горбачевському від червня 1917

до жовтня 1918 року, поки цей уряд керував. Незважаючи на те, що Українська академія наук 1925 року обрала його своїм членом, а університет у Харкові був зацікавлений, щоб він очолив його кафедру хемії, професор Горбачевський до кінця життя (1942) залишився громадянином своєї другої батьківщини. Вирішив правильно, оскільки 1930-ті роки в Радянському Союзі були небезпечні для інтелігенції, як і для тих, хто повертався з-за кордону.





Таблиця, яку відкрили в Карловому університеті в Празі до 150-річчя від дня народження Іванові Горбачевському (травень, 2004 року. Світлина І. Крауса)

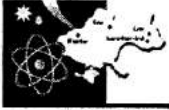
Празькі зустрічі з Іваном Пулюєм

Другим українським науковцем, який знайшов у Празі домівку, був Іван Пулюй. Він народився 2 лютого 1845 року в с. Гримайлові на Галичині, закінчив богословський, а згодом і філософський факультет Віденського університету. За спеціальністю "Математика і фізика" працював два роки у морській академії в Рієці, а згодом (після отримання докторського звання у Страсбурзі) шість років – як приват-доцент експериментальної фізики у Відні. Цісар Франц Йозеф I 1884 року надав йому звання професора Празького німецького технічного університету. За чотири роки його на один термін обрали ректором.

Своїм талантом І. Пулюй зробив вагомий внесок в електротехніку, електрозв'язок. Він відомий як конструктор оригінальних приладів для вимірювання фізичних величин, наприклад, механічного еквівалента теплоти. Його лампа 1881 року – вакуумна трубка, у якій катодні промені бомбардують оксиди або сульфід кальцію, магнію або барію – була не лише джерелом видимого світла, а й, як з'ясувалося згодом – потужнішим джерелом невидимого випромінювання, ніж те, яке згодом мав

у Вюрцбурзі К. Рентген. Про те, що І. Пулюєві для відкриття X-променів бракувало лише щасливої випадковості, свідчать його фахові лекції перед празькою публікою у середині лютого 1896 року. Утім марно шукати інформації про цю подію в періодиці того часу. І. Пулюй все ж таки був професором Німецького технічного університету. Як пише Егон Ервін Кіш у своєму "Ринку сенсацій" "чеський та німецький технічні університети були віддалені один від одного так, ніби один перебував на північному, а інший – на південному полюсах. Кожна кафедра мала свій антипод з іншого мовного боку, але не було жодного спільного закладу, лікарні, лабораторії, бібліотеки чи моргу".

Чеські "Narodni listy" мовчали, гортаю сторінки тодішньої німецької "Bohemii". Першим слідом була коротка інформація, датована 16.02.1896 роком під заголовком "Лекція Пулюя "Про Рентгенові промені": "Учора ввечері мав пан проф. др. Пулюй перед шановною публікою, серед якої було, також, багато дам, надмір плутану лекцію про так званий винахід Рентгена". Подробиці навело те ж видання 18 лютого у змістовній статті "Про невидиме катодне проміння та фотографії невидимого". "Слухачі дізналися, що лектор досліджував світлові ефекти, зумовлені катодними променями від 1881 року. За допомогою трубки, яку сам сконструював, він продемонстрував ці промені та пояснив, яка випадковість привела до винаходу Рентгена. Далі учений продемонстрував фотографування невидимих речей. Це здавалося дуже просто: фотографований предмет просто поклав на фотографічну пластинку обгорнену чорним папером і декілька секунд опромінював. Наступний етап створення знімка ніяк не відрізнявся від звичайної фотографії. Кульмінацією лекції була проекція знімків електричною лампою на біле полотно. Публіка побачила фотографії дитячих рук, туберкульозних кісток, зламаного передпліччя, мертвого тіла новонародженого, черепа з кулею всередині кістки, знімки риби, рака, кішки, окулярів у футлярі, олівця, коркової затулки зі штопором та дитячої ляльки. Багато інших вдалих фотографій учасники лекції могли розглянути на стінах аудиторії. Значний фінансовий дохід від лекції було пожертвовано бідним студентам електротехніки".



Пам'ятник Іванові Пулюєві в селі Гримайлів на Тернопільщині (квітень, 2004 р. Світлина Г. Шоти)

І. Пулюй мав високий науковий та суспільний авторитет: працював як присяжний експерт з електротехніки Торгового суду Чехії, був членом екзаменаційної комісії інженерів архітекторів, президентом електротехнічного товариства в Празі, членом патентового управління та редакційних рад декількох спеціалізованих часописів. Його 1910 року призначили надвірним радником, а за шість років – міністром. Учений співпрацював з визначними чеськими інженерами того часу – Кржіжіком, Колбенем, Даньком, у 1911–1912 роках бував, кажуть, частим гостем у Пулюєвій лабораторії на празькій Гусовій вулиці № 5 Альберт Айнштайн. Автентичні дані про Івана Пулюя подав у своїх Спогадах Франтішек Кржіжік: "Коли після 1866 року перестали прославлені австрійські гвинтівки веондлови користуватися попитом, керівник Штирського збройного заводу почав виготовляти генератори постійного струму й електролампочок. Лампочки довірили виготовляти д. Пулюєві, який був тоді приват-доцентом у Віденському університеті, і мав великий досвід роботи з лампами та Гейслеровими трубками. Коли я 1884 року приїхав до Штирії, Пулюй навчив видувати лампочки ще й мене." Інша Кржіжікова згадка від 1899 року, коли празькі кінні трамваї замінювали на електричні трамваї. "Я попросив провідних фахівців з електротехніки проф. Домаліпа з Чеського та проф. Пулюя з Німецького технічного університету в Празі, проф. Слободу

з вищого промислового навчального закладу в Пльзені та інж. Шленка з Технологічного музею у Відні, щоб вони докладно вивчили мої електродвигуни. Всі чотири висновки звучали для мене однаково позитивно."

Теплова електростанція в Голешовіцях служить пражанам ще від кінця позаминулого сторіччя. Однак мало хто знає, що це завдяки І. Пулюєві. Навколо цього проекту точилось безліч суперечок. Багато тодішніх міських радників магістрату та відомих технічних консультантів не погоджувались ані з будівництвом електростанції, яка мала виробляти змінний струм, ані з пропозицією поставити її за межами міста. Головним аргументом Пулюєвих опонентів, які відстоювали більшу кількість рівномірно розташованих енергетичних джерел на постійному струмі, були застереження, що за концепції єдиної електростанції випадкова поломка призведе до енергетичного колапсу, і що розведення змінного струму потребуватиме ще й мережі трансформаторів. Згодом з'ясувалось, що в тих, хто наполягав на малих електростанціях постійного струму на земельних ділянках поблизу центра міста були інтереси агенств нерухомості.

Професор І. Пулюй має заслуги не лише в електрифікації Праги. Він став засновником виготовлення електроенергії й у деяких менших містах – Маріанських Лазнях, Гавлічковому Броді, Цвікові та Вишнім Броді.

Більшість своїх праць з фізики та електротехніки Іван Пулюй публікував у часописах "Sitzungsberichte der k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien", "Jahres-Bericht des polytechnischen Vereins in Böhmen", "Zeitschrift für Elektrotechnik", "Elektrotechnische Zeitschrift", "Annalen der Physik" und "Chemie a Physical Memoirs". Лише після відзначення в Україні 150-річного ювілею від дня народження почали друкувати праці Івана Пулюя українською мовою. Це не лише праці з технічної тематики. З німецького видання 1915 року була перекладена також праця "Україна та її міжнародне політичне значення". У ній Іван Пулюй писав, що незалежність України – це ключ до європейського миру ("Die Selbständigkeit der Ukraine ist der Schlüssel zur Friedenshalle von Europa").

(Переклала з чеської В. Станкевич-Іванова)



До 75-річчя від дня народження
М. Гелл-Манна

Творець ”невловимих” кварків*

Галина Шопа

Львівський національний університет
імені Івана Франка



Мюррей Гелл-Манн

Американський фізик Мюррей Гелл-Манн народився 15 вересня 1929 року в Нью-Йорку і був молодшим сином у сім'ї емігрантів з Австрії Артура Гелл-Манна і Полін Райхштайн. У п'ятнадцятирічному віці Мюррей вступив до Йельського університету, який закінчив 1948 року з дипломом бакалавра наук. Далі він навчався в аспірантурі Массачусетського технологічного інституту, в якому в січні 1951 року здобув докторський ступінь з фізики. Після річного перебування у Принстонському інституті фундаментальних досліджень, Гелл-Манн у 1952–1953 роках працював викладачем у Чиказькому університеті, згодом асистент-професором (1953–1954) та ад'юнкт-професором (1954–1955). На той час там працював видатний фізик ХХ сторіччя Енріко Фермі.

У 1950-х роках теорія елементарних частинок (наукове зацікавлення Гелл-Манна) перебувала у стані формування.

Планетарна модель атома, яку 1911 року запропонував Резерфорд, швидко завоювала популярність саме через те, що надзвичайно привабливою була ідея подібності будови макро- і мікросвіту. Згодом складність пояснення планетарної моделі атома зумовила появу нової фізичної теорії – квантової механіки. Ідея складної природи найпростіших фізичних об'єктів надовго захопила увагу науковців, яке зрештою привело

*Слово ”кварк” уперше з'явилося у романі Дж. Джойса ”Поминки по Фіннегану”, де героєві у сні марилися чайки, які летять за кормою його корабля і вигукують людським голосом: ”Три кварки для містера Марка!” Причому далі ніякої участі ці кварки в сюжеті роману не беруть. Однак слово звучить приємно і коротко. Рядки з роману навели американського фізика М. Гелл-Манна на думку назвати, запропоновані ним гіпотетичні частинки, ”кварками”.

Спочатку кварки були трьох сортів, або як нині кажуть, ”ароматів”, *u*-кварк – ”верхній”, *d*-кварк – ”нижній” і *s*-кварк – ”боковий”, або ”дивний”. Нещодавно до них долучився ще один – ”зачарований”, *c*-кварк. Крім ароматів, кварки мають ще три ”кольори”, отже, їх вже дванадцять (і стільки ж антикварків). Із цих частинок, користуючись простими правилами, вдається побудувати майже всі відомі елементарні частинки. Ось такі непередбачувані закони соціально-лінгвістичної психології.



до формулювання моделі атомного ядра, що складається з протонів і нейтронів. Після того, як експериментально було підтверджено існування протонів і нейтронів настав час відкриття все нових і нових елементарних частинок. До 1959 року їх було відкрито вже майже тридцять і, щороку їх відкривали все більше. Експеримент тоді випереджав теорію.

Фізики-теоретики намагались знайти якусь схему, яка давала б змогу класифікувати всі відкриті частинки. Було встановлено два фундаментальні принципи, на яких ґрунтувались їхні пошуки. По-перше, з'ясувалось, що частинки здатні взаємодіяти одна з іншою і результатом такої взаємодії може бути народження інших частинок. По-друге, всі подібні перетворення можливі лише за умови виконання закону збереження, за яким сума квантових чисел частинок, що беруть участь у взаємодії, має бути тотожна сумі тих же квантових чисел частинок, які утворились під час взаємодії. Пояснити останню обставину можна лише тим, що частинки, які вважали елементарними, насправді не були такими, а "цеглинки", з яких вони складаються, самі складаються із певної кількості ще простіших частинок. Під час взаємодії прості частинки розпадаються на такі "цеглинки", які далі об'єднуються в інші комбінації, які є вже

іншими частинками. Кожна "цеглинка" несе певний набір квантових чисел. Оскільки загальна кількість "цеглинок" у цьому процесі залишається є стала, сталою є й сума квантових чисел. Слід зазначити, що теорія допускає можливість народження пар: "цеглинка-антицеглинка", оскільки сума одноіменних квантових чисел такої пари завжди дорівнює нулеві.

Над розв'язанням цієї складної проблеми зосередився М. Гелл-Манн. Він згрупував частинки, взявши за основу деякі їхньої подібності, водночас нехтуючи деякими відмінностями. Наприклад, незважаючи на те, що протон і нейтрон відрізняються електричним зарядом, за всіма іншими ознаками вони тотожні. Відповідно, їх можна вважати двома різновидами одного й того ж типу частинок, які називають нуклонами. Вважають, що протон й нейтрон утворюють дублет. Інші частинки також можна включити в аналогічні дублети чи в групи з трьох частинок, які називають триплетами, або ж у „групи“, які складаються лише з однієї частинки, – синглети. Загальна назва групи, яка складається з будь-якої кількості частинок, – мультиплет.

Сильна, слабка, електромагнетна та гравітаційна взаємодії утворюють чотири фундаментальних взаємодії, які лежать в основі усіх фізичних

ЧИ БУДУТЬ "ПЕРЕПИСУВАТИ ФІЗИКУ" І ХТО ЦЕ РОБИТИМЕ?

Ще 1963 року Поль Дірак сказав: "У фізиці майбутнього, звичайно, не всі три фізичні константи h , e і c будуть фундаментальні. З них лише дві можуть бути фундаментальними, а третю мають виводити з двох... По-моєму, можна впевнено передбачити, що ми досягнемо такого розвитку фізики, коли в картині світу фундаментальними будуть елементарний заряд e і швидкість світла c , а постійна Планка h – довільною величиною". Ці думки були висловнені за рік до опублікування гіпотези про кварки Гелл-Манна і Цвейга.

Три фундаментальні константи – це не просто числа, які слід використовувати в різних розрахунках. Разом з масою електрона вони визначають систему одиниць, в якій можуть бути описані майже всі відомі нині фізичні явища. До того ж жодний з таких описів не вимагає залучення якої-небудь додаткової фундаментальної константи, якщо, звичайно, не зважати на гравітаційну сталу, яка трапляється не так часто. Отже, в майбутньому фізику чакає новий етап розвитку. Хто ж це буде здійснювати?



явищ. Науковці також виявили частинки з незвичною поведінкою. Швидкість народження таких частинок під час зіткнень свідчила про те, що їхня поведінка характеризується сильною взаємодією, для якої властива швидкодія. Водночас такі частинки розпадались незвично довго, що було б неможливим, якби їхня поведінка визначалась сильною взаємодією. Швидкість розпаду цих частинок вказувала на те, що цей процес визначається значно слабшою взаємодією.

Усі намагання згрупувати ці частинки аналогічним способом були марними. Розробляючи свою схему їхньої класифікації, Гелл-Манн виявив, що середній заряд їхніх мультиплетів відрізняється від $1/2$ (середнього заряду нуклонів). Він дійшов висновку, що ця відмінність може слугувати фундаментальною властивістю дивних частинок, і запропонував ввести нову квантову властивість, яку назвали *дивністю*. Гелл-Манн показав, що дивність зберігається в усіх реакціях, де переважає сильна взаємодія. Іншими словами, сумарна дивність усіх частинок до сильної взаємодії мусить дорівнювати сумарній дивності всіх частинок після взаємодії. У процесі зіткнень деяких інших, не дивних частинок, дивні частинки народжуються парами. За цих умов дивність однієї частинки компенсується

дивністю іншої. Наприклад, якщо одна з частинок у парі має дивність $+1$, то дивність іншої частинки буде -1 . Саме тому сумарна дивність не дивних частинок і до, і після зіткнення дорівнюватиме нулеві. Після народження дивні частинки розлітаються. Ізольована дивна частинка не може розпадатись внаслідок сильної взаємодії, якщо продуктами її розпаду мають бути частинки з нульовою дивністю, оскільки такий розпад порушував би збереження дивності. М. Гелл-Манн показав, що електромагнетна взаємодія (з характерними часами дії, які є проміжними між часами сильної і слабкої взаємодії) також зберігає дивність. Отже, дивні частинки, народившись, живуть аж до розпаду, який визначається слабкою взаємодією, що не зберігає дивності. Свої ідеї Гелл-Манн опублікував 1953 року.

М. Гелл-Манн 1955 року став ад'юнкт-професором факультету Каліфорнійського технологічного інституту. Наступного року він уже став повним професором, а 1967 року зайняв почесну професорську посаду, запроваджену в пам'ять про Роберта Е. Міллікена.

М. Гелл-Манн одружився 1955 року з англійкою Маргарет Доу, яка померла 1981 року. Вона була археологом. Удруге він одружився 1992 року з Марцією Саусвік, з якою недавно розлучився. Від першого шлюбу має доньку і сина.

Подивіться на перелік лавреатів Нобелівської премії з фізики, які працювали чи працюють у відомій лабораторії "Белл".

1937 р. – К. Девіссон (за експериментальні доведення хвильових властивостей електронів);

1956 р. – Дж. Бардін, В. Браттейн, В. Шоклі (за винайдення транзистора);

1964 р. – Ч. Тавнс (за винайдення лазера);

1978 р. – А. Пензіас (за відкриття реліктового випромінювання);

1981 р. – А. Шавлов (за внесок у розвиток лазерної спектроскопії);

1996 р. – Д. Ошерофф (за відкриття надплинності в рідкому ^3He);

1996 р. – Р. Кьорл і Г. Крото (за праці з фулереном C_{60});

1997 р. – С. Чу (за розроблення методів охолодження та локалізації атомів лазерним випромінюванням);

1998 р. – Г. Штермер (за відкриття дробового квантового ефекту Холла).

До речі це значно перевищує частоту присудження премії в розвинених країнах світу. Причина тут проста. Для розвитку наукових досліджень компанія вкладає значні кошти. Тому й не дивно, кажуть, що саме в цій лабораторії й будуть "переписувати" фізику в майбутньому.



М. Гелл-Манн 1961 року виявив, що система мультиплетів, які він запропонував для опису дивних частинок, може бути включена до загальнішої теоретичної схеми, яка дала йому змогу згрупувати усі сильно взаємодіючі частинки в „сімейства”. Свою схему Гелл-Манн назвав вісімковим шляхом (за аналогією з вісьмома атрибутами праведного життя в буддизмі), оскільки деякі частинки було згруповано в „сімейства”, які налічували вісім членів. Запропонована схема класифікації частинок відома також як SU (3)-симетрія. Незабаром незалежно від Гелл-Манна аналогічну класифікацію запропонував ізраїльський фізик Ювал Нееман.

Вісімковий шлях Гелл-Манна часто порівнюють з періодичною системою хемічних елементів Д. Менделєєва, у якій хемічні елементи з аналогічними властивостями теж згруповані в сімейства. Як і Менделєєв, який залишив у періодичній таблиці незаповнені клітинки, передбачивши властивості ще невідкритих елементів, Гелл-Манн залишив вакантні місця в деяких сімействах частинок, передбачивши, які частинки мусять заповнити „вакансії”. Теорія Гелл-Манна отримала часткове підтвердження 1964 року після відкриття так званого омега-мінус-гіперона, існування якого він передбачив.

Перебуваючи як запрошений професор у Масачусетському технологічному інституті, Гелл-Манн 1963 року з'ясував, що докладно структуру вісімкового шляху можна пояснити, якщо припустити, що кожна частинка, яка бере участь у сильній взаємодії, складається з триплета частинок із дробовим електричним зарядом протона. До такого ж відкриття дійшов і американський фізик Дж. Цвейг, який працював у Європейському центрі ядерних досліджень. Гелл-Манн назвав частинки з дробовим зарядом кварками, запозичивши це слово з роману Джеймса Джойса „Поминання за Фіннеганом”. Кварки можуть мати заряд $+(2/3)e$ чи $-(1/3)e$. Існують також антикварки із зарядами $-(2/3)e$ чи $+(1/3)e$. Нейтрон, що не має електричного заряду, складається з одного кварка із зарядом $+(2/3)e$, і двох кварків із зарядом $-(1/3)e$. Протон, який володіє зарядом $+1$, складається з двох кварків із зарядами $+(2/3)e$, та одного кварка із зарядом $-(1/3)e$. Кварки з однаковим зарядом можуть відрізнитись іншими властивостями, тобто

існують декілька типів кварків з одним і тим самим зарядом. Різні комбінації кварків дають змогу описувати усі частинки, які сильно взаємодіють. Сьогодні науковці говорять про існування частинок, які складаються з двох, чотирьох і більше кварків.

Серед інших наукових досягнень Гелл-Манна варто відзначити поняття „струмів” слабких взаємодій і його внесок у розвиток „алгебри струмів”, яке він запропонував з Річардом Фейнманом.

М. Гелл-Манна нагородили Нобелівською премією з фізики 1969 року „за відкриття, пов'язані з класифікацією елементарних частинок та їхньою взаємодією”. Виступаючи на церемонії вручення премії представник Шведської королівської академії наук зазначив, що Гелл-Манна „понад десятиріччя вважають провідним науковцем у галузі теорії елементарних частинок”. Методи, які запропонував Гелл-Манн, „належать до найпотужніших засобів подальших досліджень у фізиці елементарних частинок”.

Крім Нобелівської премії, М. Гелл-Манна нагородили премією Денні Гейнемана Американського фізичного товариства (1959), премією з фізики Ернеста Орlando Лоуренса Комісії з атомної енергії США (1966), медаллю Франкліна Франклінського інституту (1967), медаллю Джона Дж. Карті Національної академії наук США (1968), премією Корпорації дослідників (1969), премією Еріка (1990). У 1994 р. він одержав почесний ступінь доктора наук Природних багатств від університету Флориди.

М. Гелл-Манн є почесним доктором Єльського, Чиказького, Іллінойського, Турінського, Колумбійського, Кембриджського, Оксфордського та багатьох інших університетів. Він є членом Американського фізичного товариства (1960), Національної академії наук США (1960), Американської академії наук і мистецтв (з 1964 р., був віцепрезидентом та головою у 1970–1976 рр.), іноземним членом Лондонського королівського товариства (1978), почесним членом Французького фізичного товариства (1970), іноземним членом Пакистанської (1985), Індійської (1985), Російської (1993), Ірландської (2003) академій наук, членом Американського філософського товариства (1993), Американської асоціації з розвитку науки (1994).



М. Гелл-Манн працював в Інституті наукових досліджень Принстонського університету (1951), Іллінойському університеті у 1951–1953 рр., асоційованим професором Чиказького університету (1952–1954), запрошеним професором Колумбійського університету (1954), з 1955 р. професором у Каліфорнійському технологічному інституті, з 1993 р. – його президентом. У Каліфорнійському технологічному інституті 1962 р. під керівництвом професора Гелл-Манна стажувався закарпатський фізик Володимир Лендєл, майбутній ректор Ужгородського університету (1980–1988). Науковець був запрошений професор коледжу де Франс і Паризького університету (1959–1960), Массачусетського технологічного інституту (1963), член Наукової ради Принстонського інституту (1967–1968), працював у ЦЕРНі, лабораторії Лос-Аламосі. Він – колишній член Консультативного комітету з науки при Президентові США (1969–1972), брав участь у роботі Комісії консультантів Президента США з науки і технології у 1994–2001 рр.

Від 1995 року і досі М. Гелл-Манн працює запрошеним професором в Інституті Лос-Аламоської лабораторії в Санта Фе (1993 р. – президент) і запрошеним професором університету Нью-Мексико (1995 р. – президент).

Фізик-теоретик М. Гелл-Манн цікавиться природознавством, історичною лінгвістикою, археологією, історією, психологією, біологією тощо. Він також цікавиться політикою, турбується питаннями екології, демографічною ситуацією, економікою і світовою стабільністю. Науковець із задоволенням спостерігає за птахами, полює пішохідні прогулянки, подорожі в місцях, яких ще не торкнулась цивілізація. М. Гелл-Манн 1969 року допоміг організувати програму дослідження довкілля, яку фінансує Національна академія наук США.

Сьогодні М. Гелл-Манн мешкає в м. Санта Фе, Нью-Мексико і веде щорічний семінар з фізики в університеті Нью-Мексико. Він є визнаним фахівцем у галузі квантової теорії поля, фізики елементарних частинок і фізики ядра.

КВАРКОВИЙ "ХОР"

Відомий теоретик В. Вайскопф, який був скептично налаштований щодо кваркової моделі, сумнівався в існуванні кварків. У розмові з журналістами розповів таку історію про Нільса Бора. Відвідавши дім свого товариша, Н. Бор помітив прибуту над дверима підкову й запитав господаря, що це означає.

- Вона приносить щастя, – почув він у відповідь.
- Ви справді вірите в це? – запитав Н. Бор.
- О, я не вірю, але мушу вам сказати, що це діє навіть тоді, якщо ви не вірите.

І кварки, незалежно від того, віримо ми в них чи не віримо, також "працюють". "Теорія кварків закріпила свої позиції, і поряд із спеціальними працями, присвяченими кваркам, модель кварків описують майже в усіх книжках, присвячених елементарним частинкам, її згадують у доповідях і на всіх конференціях з фізики високих енергій", – важко сказати переконливіше про "працездатність" кварків, ніж це сказав професор Д. Іваненко. "Модель кварків, – писав професор Д. Іваненко, – міцно утрималась як "хор", без підтримки якого "солісти" не могли б розумно оперувати в перших рядах".

"Оптимісти, які сподіваються на відкриття кварків, аргументуючи свою впевненість приблизно так: "Пошуки нейтрино та антипротона тривали майже чверть сторіччя. Подивимось, що покаже майбутнє". Песимісти кажуть: "Кварків немає, тому їх і не знайшли".

Звичайно, кожний має власну думку. Тим паче, що вільні кварки справді ще не відкриті. І може так трапитися, що їх ніколи й не знайдуть.



Йоганн Якоб Бальмер

Манфред Ахіллес

професор

(Берлін, Німеччина)



Ще зі студентських років для мене й моїх друзів найпершою метою відпустки є Швейцарія. У різні часи із різними намірами ми відвідуємо Валліс, Тессін, Аграу, Бернер Оберлянд і Швайцер Юра. Добре відомо, що в цій чудовій країні кантони відрізняються.

Останніми роками особливо часто ми зупиняємося у Вільдерсвілі, неподалік від Інтерлакен, який здобув трагічну славу через два спортивні нещасні випадки.

БАЛЬМЕР (Balmer) Йоганн Якоб (1825–1898), швейцарський фізик і математик. Автор фундаментальних праць з атомної спектроскопії. Встановив (1885), що довжини хвиль видимої частини спектра атома водню пов'язані між собою простою залежністю (формула Бальмера), яка дає змогу визначити довжини хвиль усіх ліній спектральної серії водню (серія Бальмера).

Великі екскурсії і та маленькі прогулянки розважають і збагачують нас цікавими фотографіями, художніми сюжетами. Прогулянка через невеличке старовинне кладовище зосереджує нашу увагу на прізвищі, яке часто тут трапляється: БАЛЬМЕР.

Повертаюся до будинку, який має ім'я фізика Бальмера, відкривача „серії Бальмера”. Він називається „Johann Jakob”. Але я розчарований, Й. Я. Бальмер мешкав у Базелі, а не у Вільдерсвілі. Він народився першого травня 1825 року в Лозанні, маленькій місцевості на південний схід від Базеля, навчався в Базелі, Карлсруе та Берліні, слухав лекції Шеллінга, послідовника Гегеля, та Дістервега. Усім освіченим людям добре відомі обидва професори, які тоді працювали в Берліні.

Й. Бальмер 1865 року був габілітований у Базелі, дивним чином ще до того, як 1869 року захистив дисертацію. Його інтереси стосувалися математики, теології, а також архітектури старого Темпеля в Єрусалимі. Учений був змушений розпочати два роди діяльності – математика в Базельському університеті та архітектора (як приват-доцента), які погано оплачувалися. Крім того, влаштування на добре оплачувану працю в дочірній гімназії Базеля. Року 1880 у 65-річному віці він закінчив свою університетську викладацьку роботу, а в дівочій гімназії працював до самої смерті.

Дивують його квазісоціалістичні погляди, які сприяли продуктивній праці. Він, наприклад, зробив 25 проектів будинків для робітників. Професори ж не одержали нічого через його „ліву” орієнтацію. Релігійні інтереси також впливали на його діяльність. Він переклав німецькою мовою Святе Письмо англійського проповідника Шпаргеона, який тоді був популярним серед протестантів.

Перші спроби фізичних досліджень були здійснені під керівництвом проф. Фогеля, який зай-



4101 Å	H_{δ}
4340 Å	H_{γ}
4861 Å	H_{β}
6562 Å	H_{α}

Довжини хвиль у спектрі випромінювання водню, які розрахував Бальмер (серія Бальмера)

мався вивченням спектральних ліній атома водню. Але першого успіху досяг швед Ангстрем, який точно виміряв довжини хвиль спектральних ліній водню в сонячному спектрі. Колега із Базеля надихнув Бальмера знайти формулу, яка точно описала положення чотирьох ліній і яка, очевидно, відповідає невідомому закономі. Тривалі пошуки відповідного рівняння з частинними похідними привели 1885 року Бальмера до правильного рішення. Утім наука не помічає важливості формули. Рідберг, співвітчизник Ангстрема, за кілька років дав цій формулі сьогодні прийнятну форму. Він та інші науковці в наступні двадцять років за допомогою розширеної формули Бальмера описали тисячі спектральних ліній, не вникаючи у глибинну суть формули.

Після того, як Нільс Бор 30 років потому визнав важливість праць Бальмера, той вже покинув цей світ (помер 1898 року). Що ж видатного є в його формулі? У тогочасній фізиці панували величини, визначені з точністю до багатьох десяткових знаків. Збільшення точності виміряних величин належали до великих експериментальних успіхів. Важливою метою вимірювань було, наприклад, точне встановлення швидкості світла та константи Рідберга, яка тут згадано.

Результат Бальмера був цілком іншим. З погляду тодішньої фізики він був революційним і малозрозумілим. Він відкрив головне квантове число, яке за 40 років стало елементом відомої сьогодні квантової механіки. Бор став першим, який

заклав основи квантової теорії і застосував формулу Бальмера у своїй моделі атома з енергетичними станами. Він, на жаль, недостатньо визнав Бальмера як попередника ідеї квантових орбіт.

Не всі формули живуть, але ця все ж повертається. У формі запису Рідберга вона виглядає так:

$$\nu = R_y \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де $n = 3, 4, 5, 6$; ν – частота спектральної лінії; R_y – константа Рідберга ($3,29 \times 10^{15}$ Гц).

Перший дріб для серії Бальмера є константою (існують також інші спектральні серії), n – це чотири послідовні цілі числа для кожної лінії. Розрахунок дає для кожної лінії такі частоти: 457, 617, 691, 732, кожна з яких потрібно помножити на 10^{12} Гц. Якщо цей множник опустити, то одержимо акустичні тони *a* (ля), *c* (до), *d* (ре), *es* (мі-бемоль), розташовані один від одного через інтервали – мала терція, велика секунда, мала секунда, відповідно.



Ріхард Штраус 1895 року застосував ці 4 ноти, як Тема 1 у „Смішних витівках Тіля Уленшпігеля” (за Г. Копельманом). За Наренбергом текст звучить „жив був колись”. Природний музичний настрій ґрунтується також на малих цілих числах. Уже мільйони років флейти Сонця (спектральна серія водню) звучать на Землі так само, як мелодії Уленшпігеля. Чи не варто тут згадати Бога?

Із мальовничої Швейцарії, яка дала вченого Бальмера, вітаємо сердечно усіх з Новим Роком та Різдом Христовим!

(Переклав з німецької Я. Шона)



Нобелівські премії – це найпрестижніші наукові нагороди. Часто запитують, чому ці премії привертають до себе більшу увагу, ніж будь-які інші. Однією з причин може бути те, що їх було засновано у відповідний історичний момент, коли наука і суспільне виробництво почали глобалізуватись. Від початку заснування премій, яку присуджували незалежно від національності, громадянства та расової належності, вона стала світовою премією. Строгих правил відбору лавреатів дотримуються вже понад сто років. Як тільки у грудні закінчуються вибори лавреатів, відразу ж розпочинається підготовка до відбору лавреатів наступного року. Подібна щорічна діяльність, в якій бере участь багато експертів з усіх країн світу, орієнтує науковців, письменників й громадських діячів на працю в інтересах розвитку світової спільноти, яка передусє присудженню премій за "внесок у загальнолюдський прогрес".

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

2004



Девід Політцер



Френк Вілчек



Девід Гросс

Крок до створення універсальної теорії взаємодії

Шведська академія наук нагородила Нобелівською премією з фізики 2004 року американських фізиків Девіда Гросса (David J. Gross), Девіда Політцера (H. David Politzer) і Френка Вілчека (Frank Wilczek) за „відкриття асимптотичної свободи в теорії сильної взаємодії”.

Девід Гросс народився 19 лютого 1941 року в м. Вашингтоні (округ Колумбія, США). Середню школу він закінчив у Єрусалимі, а згодом навчався в Єрусалимському університеті. Далі поїхав до США, де він народився. Науковий ступінь Д. Гросс здобув 1966 року в Каліфорнійському університеті (Берклі, США). Нині Д. Гросс очолює Інститут теоретичної фізики в Каліфорнійському університеті Санта-Барбари (США). Д. Гросс почесний доктор Єврейського університету в Єрусалимі. Він очолює Зимову школу теоретичної фізики Єврейського університету в Єрусалимі, яку проводять щороку в грудні.

Девід Політцер народився 1949 року. Ступінь доктора з фізики здобув 1974 року в Гарвардському університеті. Нині працює професором фізичного факультету Каліфорнійського технологічного інституту (м. Пасадена, штат Каліфорнія, США).

Френк Вілчек народився 15 травня 1951 року в м. Нью-Йорку (США). Науковий ступінь здобув 1974 року в Принстонському університеті. Нині працює професором фізичного факультету Массачусетського технологічного інституту (м. Кембридж, штат Массачусетс, США).

Відкриття, яке зробили лавреати Нобелівської премії з фізики 2004 року, важливе для нашого розуміння, як діють сили, що поєднують найменші частинки матерії – кварки. З цих частинок складаються складові атомних ядер – протони і нейтрони та деякі інші елементарні частинки. Можна стверджувати, що з них складаються також всі предмети, які нас оточують, а також те, що ми,



також переважно складаємось з кварків. Ці частинки мають дробовий електричний заряд і не спостерігаються у вільному стані. У протонах та нейтронах вони завжди перебувають у трійках. Мезони складаються з двох кварків, а в останній час з'явилися повідомлення про відкриття чотири- та п'ятикваркових об'єднань. Такі специфічні властивості цих елементарних частинок пояснили своїми працями нобелівські лавреати з фізики 2004 року.

Нинішні лавреати 1973 року (Ф. Вілчек та Д. Політцер були тоді аспірантами) опублікували дві праці, які заклали підґрунтя сучасної квантової хромодинаміки, а саме теорію сильної взаємодії між кварками. У своїх працях науковці описали сильну взаємодію подібно на добре розвинуту на той час теорію електрослабкої взаємодії. Важливим поняттям цієї теорії стало їхнє передбачення, що носіями сильної взаємодії між кварками є безмасові частинки – глюони. Глюони взаємодіють не лише з кварками, а й між собою. Це принципово вирізняло глюони від носіїв електромагнетної взаємодії – фотонів. Фотони, як відомо, не взаємодіють між собою, а взаємодіють лише з частинками, що мають електричні заряди. Така поведінка глюонів пояснила, чому сила взаємодії між кварками – що ближче вони один до одного, то слабша, і навпаки: сила притягання зростає, коли вони віддаляються один від одного. Це явище назвали *асимптотичною свободою*. Воно пояснює чому кварки, які часто мають однойменний електричний заряд, тривалий час перебувають дуже близько один біля одного, утворюючи стійкі утворення: протон, нейтрон. Це явище дало змогу розрахувати взаємодії між кварками і пояснити незрозумілі результати експериментів.

Квантова хромодинаміка показує, що кварки, крім звичайного електричного заряду, який має дробові значення $(-1/3)$ або $(+2/3)$ існують ще три кольорові заряди – червоний, зелений і синій. Кожний із шести кварків мусить мати один із цих трьох кольорів, а відповідні їм шість антикварків – один із трьох антикольорів. Кожний із восьми глюонів немає маси й електричного заряду, зате володіє одним кольоровим зарядом і одним кольоровим антизарядом. Взаємодіючи з кварком, глюон змінює його колір. Наприклад, глюон із

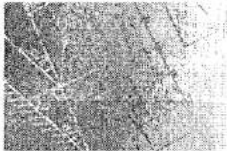
червоним зарядом і синім антизарядом переводить синій кварк у червоний. При взаємних перетвореннях частинок кольоровий заряд, як і електричний, зберігається. Спостерігаються лише „білі” частинки. Наприклад, у складі трьох кваркових протонів і нейтронів один кварк обов'язково має бути синім, другий – червоним, а третій – зеленим. У складі мюонів, які складаються з кварка і антикварка, якщо кварк, наприклад, синій, то антикварк має бути антисиній. Цей закон „білизни” пояснює чому кварки ніколи не бувають окремо. Така дивовижна кольорова теорія добре пояснює всі експерименти, в яких спостерігається взаємні перетворення декількох сотень мюонів і баріонів. З іншого боку, теорія асимптотичної свободи пояснила, чому кварки у вільному стані (а не у вигляді деяких об'єднань) можна спостерігати лише за дуже великої енергії.

Сподіваємось, що незабаром з ЦЕРНу надійде повідомлення про те, що за дуже високоенергетичних зіткнень спостерігається розпад нуклонів і утворюється кварк-глюонна „плазма”. Відомо, що такі експерименти плануються. Їхнє успішне проведення стане ще одним експериментальним підтвердженням квантової хромодинаміки. Але здається, що за 30 років від часу створення, вона витримала перевірку часом, і нині поважне наукове співтовариство сприймає її як визнану наукову теорію. Вона стала важливою частиною Стандартної моделі – загальної теорії, що описує електромагнетну, слабку і сильну взаємодію. Стандартна модель стала основою нашого світосприйняття мікросвіту. Багато передбачень цієї теорії знайшли своє експериментальне підтвердження, інші, наприклад, бозони Гігса науковці, що працюють на сучасних надпотужних прискорювачах, намагаються відкрити. Поки що від них надходить суперечлива інформація („Світ фізики”. 2004. № 3. С. 9). Однак експерти Нобелівського комітету вважають, що завдяки відкриттю Д. Гросса, Д. Політцера та Ф. Вілчека ми на крок наблизились до здійснення великої мрії: формулювання універсальної теорії взаємодії, яка охоплює всі відомі нам взаємодії. Сподіваємось, що цей крок вирішальний!

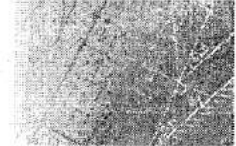
Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук



Пропонуємо Вам задачу з XII Всеукраїнського турніру юних фізиків, який відбувся 24–29 лютого 2004 року в м. Одесі. Розв'язок задачі запропонувала команда школярів збірної м. Севастополя, яка стала переможцем цього турніру (керівник команди заслужений учитель України Іван Казачек).



ЛІФТ



У пробірку наливають воду, і туди вставляють пробірку трохи меншого діаметра. Утворену систему перевертають. Внутрішня пробірка починає підніматись. Опишіть спостережуване явище кількісно.

З'ясуймо спочатку фізичні причини, які зумовлюють описані в умові задачі явища. Атмосферний тиск діє і на поверхню води, що міститься в проміжку між двома пробірками, і на дно внутрішньої пробірки. На рівні AB з боку внутрішньої пробірки догори діятиме тиск:

$$p_1 = p_a - \frac{M}{\pi R^2},$$

а в рідині на рівні AB тиск буде:

$$p_2 = p_a - \rho g H_0.$$

Внутрішня пробірка рухатиметься догори за умови:

$$p_2 \leq p_1,$$

а, отже,

$$H_0 \geq \frac{M}{\rho g \pi R^2}$$

(тут ми знехтували поверхневим натягом). Зауважмо також, що атмосферний тиск має бути достатнім для того, щоб вода взагалі не витікла з проміжку між пробірками.

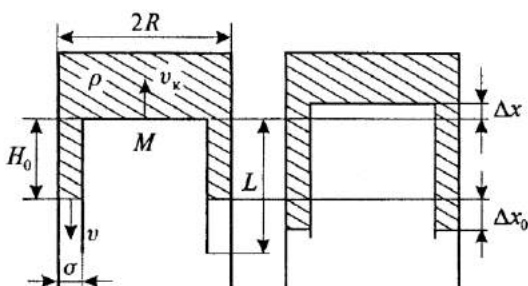


Рис. 1

Розглянемо, фізичні закони та явища, які враховуватимемо під час розв'язуванні задачі:

- закон збереження енергії;
- втрати енергії на в'язке тертя у воді;
- поверхневий натяг;
- нестисливість води.

Встановімо зв'язок між середньою швидкістю течії води у проміжку між пробірками v , та швидкістю руху пробірки v_k . Спочатку зауважмо, що віддаль l набагато менша від радіуса R . Таке спрощення може внести похибку в розрахунки майже 10%, якщо $l/R = 0,1$. За проміжок часу dt пробірка витіснить об'єм води

$$V_1 = \pi R^2 v_k dt,$$

а крізь проміжок між пробірками протече об'єм

$$V_2 = (\pi(R+l)^2 - \pi R^2) v dt \approx 2\pi R l v dt.$$

З умови нестисливості води ($V_1 = V_2$):

$$v = \frac{R}{2l} v_k. \quad (1)$$

Аналогічно і для прискорення:

$$a_{\text{води}} = \frac{R}{2l} a_{\text{пробірки}}.$$

Знайдімо зміщення внутрішньої пробірки від початкового положення (деяке x), при якому із проміжку почне витікати вода. З попередніх умов нерозривності та нестисливості води:

$$x = \frac{2l}{R} (L - H_0). \quad (2)$$

Запишімо закон збереження енергії, врахувавши втрати енергії на в'язке тертя, енергію поверхневого натягу, зміну кінетичної та потенціальної енергії води і пробірки.



1. Втрати енергії на в'язке тертя

Запишімо рівняння Ньютона для в'язкої рідини:

$$F = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta r}.$$

У нашому випадку

$$S = 2\pi R \{H_0\},$$

де $\{H_0\}$ – завищена оцінка довжини частини пробірки, зануреної у рідину. У нашому випадку максимальною оцінкою буде $\{H_0\} = L$. Площа контакту рідини з поверхнею пробірки буде:

$$S = 2\pi RL.$$

Враховуючи явище „приєднаної маси” можна припустити, що розподіл швидкості води від відстані до зовнішньої стінки такий, як зображено на рис. 2, а.

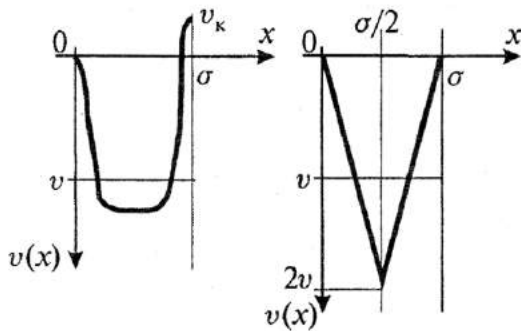


Рис. 2

Для спрощення розрахунків замінімо реальний розподіл швидкості на такий, як зображено на рис. 2, б. Максимум швидкості води досягається у точці з координатою $r = l/2$, й дорівнює $2v$, оскільки увесь потік води має мати середню швидкість v . Тоді

$$\frac{\Delta v}{\Delta r} = \frac{2v}{l/2} = \frac{4v}{l}.$$

Враховавши (1), отримаємо:

$$\frac{\Delta v}{\Delta r} = \frac{2Rv_k}{l^2}.$$

Тоді сила в'язкого тертя, яка діє рідину, буде:

$$F = \eta \cdot 2\pi RL \cdot \frac{2Rv_k}{l^2} = \frac{4\pi R^2 L v \eta}{l^2}.$$

Знайдімо потужність втрат, зумовлених вязким тертям, за формулою:

$$P = F \times V.$$

$$P_1 = \frac{2\pi R^3 L \eta}{l^3} v^2. \quad (3)$$

2. Поверхневий натяг

Щоб врахувати роль поверхневого натягу, розглянемо дві моделі. Перша – із проміжку між пробірками витікає потік води, який має форму тонкостінного циліндра (діаметром $2R$, товщина стінок l). Друга модель – витікає потік крапель діаметра l , і цей потік такий, що сумарний об'єм води, який витікає із проміжку між пробірками дорівнює:

$$dV = S v dt = 2\pi R l v_k \frac{R}{2l} dt = \pi R^2 v_k dt.$$

Розглянемо ці моделі.

Тонкостінний циліндр. Знайдемо поверхневу енергію (коефіцієнт поверхневого натягу σ_0 , причому врахуймо те, що це коефіцієнт поверхневого натягу на межі вода-скло доти, поки вода не витікає з пробірки, і коефіцієнт поверхневого натягу на межі вода-повітря після цього):

$$dW = \sigma_0 dS = \sigma_0 \cdot 4\pi R \cdot v dt = 4\pi R \sigma_0 v_k \frac{R}{2l} dt.$$

Потужність втрат енергії системи на збільшення вільної поверхні води буде:

$$P_2 = \frac{dW}{dt} = \frac{2\pi R^2 \sigma_0}{l} v_k. \quad (4)$$

Краплі. Якщо вода ще не витікає із пробірки, застосовною є лише перша модель (краплі не утворюються), тому використаємо формулу (4). Знайдемо об'єм однієї краплі:

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3 = \frac{1}{6}\pi l^3.$$

Прирівняймо об'єм деякої кількості крапель до об'єму води, що витікає і знайдемо кількість таких крапель:

$$n = \frac{V}{V_1} = \frac{2\pi R l \frac{R}{2l} v_k dt}{\frac{1}{6}\pi l^3} = \frac{6R^2 v_k dt}{l^3}.$$

Поверхнева енергія цих крапель буде:

$$dW = n S \sigma_0 = \frac{6R^2 v_k dt}{l^3} \cdot \pi l^2 \sigma_0 = \frac{6\pi R^2 v_k dt}{l} \sigma_0,$$



звідси потрібна потужність для утворення нової поверхні води буде:

$$P_3 = \frac{dW}{dt} = \frac{6\pi R^2 \sigma_0}{l} v_k. \quad (5)$$

Видно, що результати, одержані за різними моделями, відрізняються втричі. Тому для спрощення викладок скористайтесь спочатку першою моделлю.

3. Зміна енергії води

Кінетичної енергії. Зміну кінетичної енергії води врахуємо як зміну енергії рухомої води та води, яка початково не рухалась (вона витісняється внутрішньою пробіркою, що піднімається догори).

$$W_1 = \frac{mv^2}{2},$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \frac{(m+dm) \times (v+dv)^2}{2} = \\ &= \frac{(m+dm) \times (v^2 + 2vdv)}{2} = \\ &= \frac{mv^2 + v^2 dm + 2mvdv}{2}, \end{aligned}$$

звідси,

$$dW = \frac{v^2 dm + mvdv}{2}. \quad (6)$$

Розглянемо малий проміжок часу dt . Зміна маси рухомої води:

$$dm = \rho dV = \rho \cdot \pi R^2 v_k dt.$$

Аналогічно отримаємо зміну швидкості dv , зв'язавши її формулою, аналогічною формулі (1), із прискоренням пробірка:

$$dv = a_{\text{води}} dt = a \frac{R}{2l} dt.$$

Маса рухомої води $m = \rho V = \rho \cdot \pi R l H_n$, де H_n – це глибина занурення пробірки у воду. Знайдемо цю масу для випадків – вода витікає із проміжків і не витікає, врахувавши умову (2).

$$H_n = \begin{cases} x \leq \frac{2l(L-H_0)}{R} \Rightarrow H_0 + x \cdot \frac{R}{2l}, \\ x \geq \frac{2l(L-H_0)}{R} \Rightarrow H_0 = L. \end{cases} \quad (7)$$

Підставмо це в (4), врахувавши (1), отримаємо:

$$\begin{aligned} dW &= \frac{\left(\frac{R}{2l} v_k\right)^2 \rho \pi R^2 v_k dt}{2} + \\ &+ \frac{\rho \cdot \pi R l H_n \left(\frac{R}{2l} v_k\right) \cdot a \frac{R}{2l} dt}{2}. \end{aligned}$$

Спрощуючи, маємо

$$\begin{aligned} P_4 = \frac{dW}{dt} &= \frac{\frac{R^2 v_k^2}{4l^2} \pi R^2 \rho v_k + \rho \pi R l H_n \frac{R v_k}{2l} a \frac{R}{2l}}{2} = \\ &= \frac{\pi R^4 \rho v_k^3}{8l^2} + \frac{\rho \pi R^3 H_n v_k a}{4l}. \end{aligned} \quad (8)$$

Потенціальної енергії

Зміну потенціальної енергії води знайдемо за формулою:

$$dW = mgdh.$$

$$m = V\rho = 2\pi R l H_n \rho, \quad dh = v dt = v_k \frac{R}{2l} dt,$$

підставляючи, маємо:

$$\begin{aligned} P_5 = \frac{dW}{dt} &= \frac{2\pi R l H_n \rho g v_k \frac{R}{2l} dt}{dt} = \\ &= \pi R^2 \rho g H_n v_k \end{aligned} \quad (9)$$

4. Зміна енергії пробірки

Кінетичної енергії

Зміну кінетичної енергії пробірки знайдемо так:

$$dW_k = \frac{m(v_k + dv_k)^2 - mv_k^2}{2} = \frac{2mv_k dv_k}{2} = mv_k dv_k,$$

далі, враховуючи визначення прискорення, отримаємо:

$$P_6 = \frac{dW_k}{dt} = mv_k \frac{dv_k}{dt} = mv_k a. \quad (10)$$



Потенціальної енергії

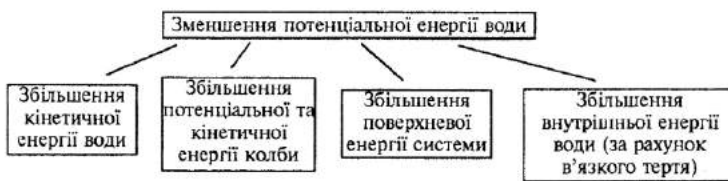
Зміну потенціальної енергії пробірки знайдемо за формулою:

$$dW_n = mgdh = mgv_k dt,$$

звідси,

$$P_7 = \frac{dW_n}{dt} = mgv_k. \quad (11)$$

На цьому перелік процесів, які відбуваються у системі, можна вважати закінченим. Далі за законом збереження енергії маємо, що сумарна потужність



процесу дорівнює нулеві (схему перетворення енергії зображено на рисунку).

Закон збереження енергії:

$$\begin{aligned} & \frac{2\pi R^3 L \eta}{l^3} v_k^2 + \frac{2\pi R^3 \sigma_0}{l} v_k + \\ & + \left(\frac{\pi R^4 \rho v_k^3}{8l^2} + \frac{\pi R^3 \rho H_n v_k a}{4l} \right) - \\ & - \pi R^2 \rho g H_n v_k + m v_k a + m v_k g = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Ми отримали диференціальне рівняння руху внутрішньої пробірки. Воно пов'язує прискорення, швидкість та координату пробірки. Водночас до цього виразу входять такі змінні величини, як прискорення, швидкість, координата, коефіцієнт поверхневого натягу σ_0 , який миттєво змінюється у момент початку витікання води із проміжку, і величина H_n , яка залежить від координати та обчислюється за виразом (7).

Спростимо наш вираз, скоротивши його на v_k та увівши сталі (або вирази, які залежать тільки від координати), а потім виразимо із отриманого рівняння прискорення a .

$$\ddot{x} = \frac{D - B(\dot{x})^2 - C\dot{x}}{A}. \quad (13)$$

де $A = m + \frac{\pi R^3 \rho H_n}{4l}$, $B = \frac{\pi R^4 \rho}{8l^2}$, $C = \frac{2\pi R^3 L \eta}{l^3}$,

$$D = \pi R^2 \rho g H_n - \frac{2\pi R^3 \sigma_0}{l} - mg,$$

$$\sigma_0 = \begin{cases} x \leq \frac{2l(L - H_0)}{R} \Rightarrow \sigma_{\text{скла}}, \\ x \geq \frac{2l(L - H_0)}{R} \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{\text{повітря}}, \\ 3 \cdot \sigma_{\text{повітря}}. \end{cases} \end{cases}$$

Причому залежно від обраної моделі процесу біля коефіцієнта поверхневого натягу множник буде: три або один (залежить від моделі врахування поверхневого натягу – „крапля” чи „тонкостінний циліндр”).

Очевидно, що це диференціальне рівняння аналітично розв'язати складно, тому розв'яжімо його чисельно. Для цього обчислюватимемо прискорення в деякий момент часу, а далі перерахуємо швид-

кість та координату тощо. Написавши програму мовою Pascal, ми одержали графіки (зображені нижче), які відображають залежність прискорення, швидкості й координат пробірки від часу.

Насамкінець розглянемо випадок, який дає змогу отримати розв'язок аналітично. Для цього зробимо такі спрощення:

- знехтуємо поверхневим натягом;
- знехтуємо в'язкістю води;
- вважаймо, що спочатку $L = H_0$, тобто внутрішня пробірка повністю занурена у воду.

Отримаємо таке рівняння:

$$a = M - NV^2, \quad (14)$$

де $M = \frac{\pi R^2 \rho g L - mg}{m + \frac{\pi R^3 \rho L}{4l}}$, $N = \frac{\left(\frac{\pi R^4 \rho}{8l^2} \right)}{m + \frac{\pi R^3 \rho L}{4l}}$.

Це рівняння можна розв'язати аналітично:

$$\frac{dv}{dt} = M - Nv_k^2,$$

звідси, $dt = \frac{dv}{M - Nv_k^2} = \frac{1}{N} \cdot \frac{dv}{\frac{M}{N} - v_k^2}$.

Інтеграл від обидвох частин:

$$t = \frac{1}{N} \int_0^{v_k} \frac{dv}{\frac{M}{N} - v_k^2} = \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{M}{N}}} \operatorname{arctg} \frac{v_k}{\sqrt{\frac{M}{N}}} =$$



$$= \frac{1}{\sqrt{MN}} \operatorname{arcth} \frac{v_k}{\sqrt{\frac{M}{N}}},$$

звідси,

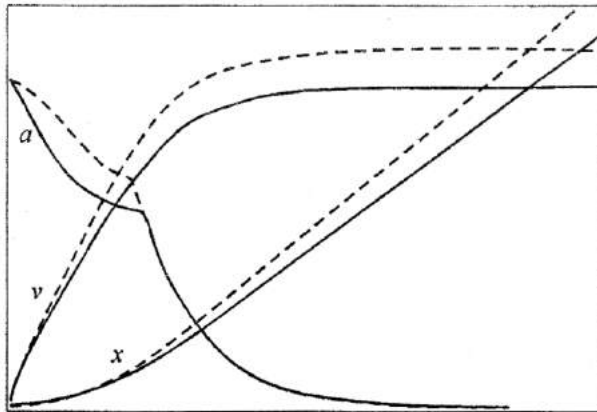
$$v_k = \sqrt{\frac{M}{N}} \operatorname{th} [t\sqrt{MN}]. \quad (15)$$

Відомо, що функція гіперболічного тангенса при прямуванні аргумента до нескінченності прямує до одиниці. Отже, можна спостерігати встановлену швидкість руху внутрішньої пробірки:

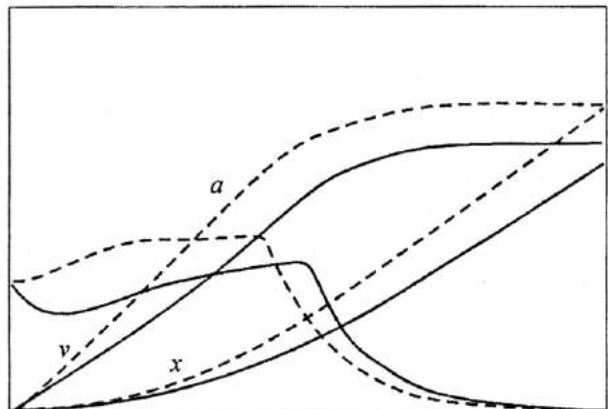
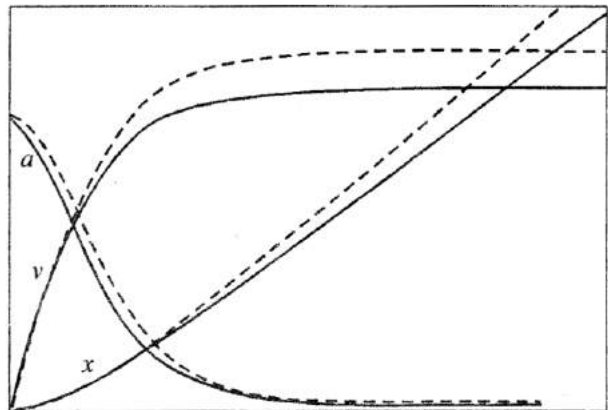
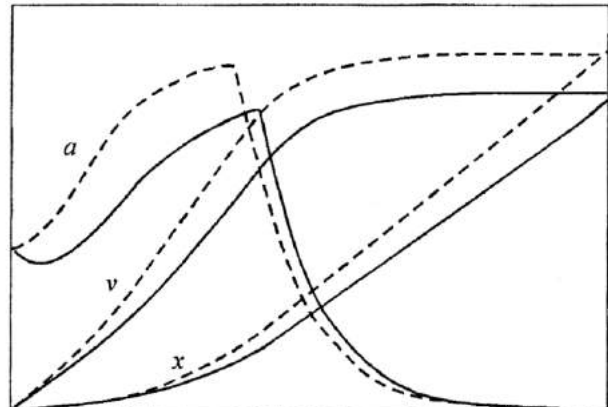
$$V_{\text{вст.}} = \sqrt{\frac{M}{N}} = \sqrt{\frac{(\pi R^2 \rho g L - mg) \cdot 8l^2}{\pi R^4 \rho}}. \quad (16)$$

Отже, маємо один із основних характеристик параметрів системи – встановлений стан. Зауважимо, що умова невід’ємності підкореневого виразу рівнозначна умові початку підйому пробірки – умові, одержаній на початку із простих міркувань:

$$H_0 \geq \frac{M}{\pi R^2 \rho}.$$



Графіки вказують на те, що, розв’язуючи цю задачу, можна знехтувати поверхневим натягом (його внесок ~ 0,1% від інших характеристик). Це впливає з аналізу швидкостей пробірки для випадків без урахування поверхневого натягу і з його врахуванням за умови, коли множник три.



Олександр Фрей,
учень 11-го класу середньої школи
м. Севастополя



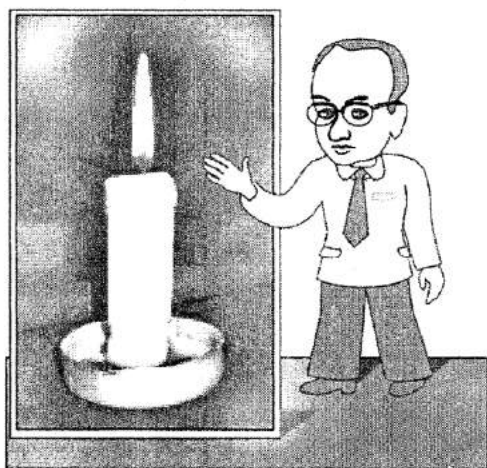
Досліди Мудрагелика

Валерій Старошук,
учитель фізики СЗШ № 3 м. Києва

Заняття 3

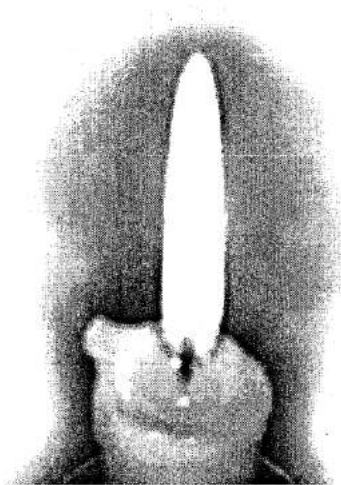
Гра з вогнем

Кожний з нас милувався, розглядаючи полум'я свічки. Воно, ніби живе, змінювало свою форму, даючи нам світло і тепло. Її мерехкотіння заворожує і ми забуваємо, що на наших очах одразу відбувається велика кількість різних фізичних процесів, які ми сприймаємо як один: горіння свічки.



Мал. 1

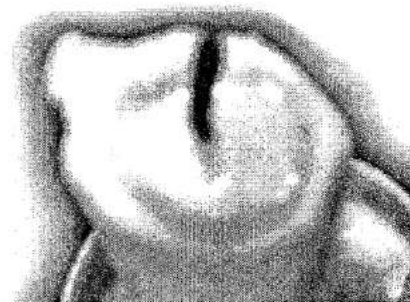
Будова і принцип дії свічки



Мал. 2

Існує велика кількість свічок, але всі вони мають два складники: речовину, яка горить (парафін, стеарин, віск), і гніт, що проходить усередині речовини.

Температури плавлення воску 640°C , парафіну й стеарину – 450°C , отже, біля полум'я свічки ці речовини перебувають у рідкому стані. На мал. 2 добре видно, як біля гніту утворився кратер, всередині якого є рідкий парафін. Парафін ще певний час залишається рідким після того, як загасили свічку (мал. 3).



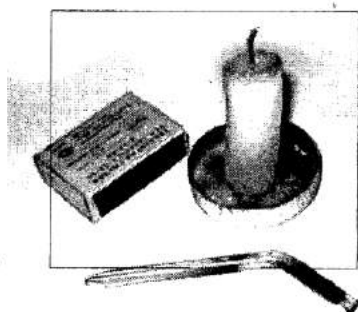
Мал. 3

Гніт роблять переважно з ниток бавовни, переплетених між собою. Рідкий парафін, завдяки явищу капілярності, піднімається вздовж гніту, де під дією високої температури активно випаровується. Із вигоранням парафіну свічки гніт також вигорає, тому що парафін не досягає самої верхівки гніту. Щоб довести, що всередині полум'я є пари парафіну проробимо дослід 1.

Дослід 1

Мета: дослідити склад полум'я свічки.

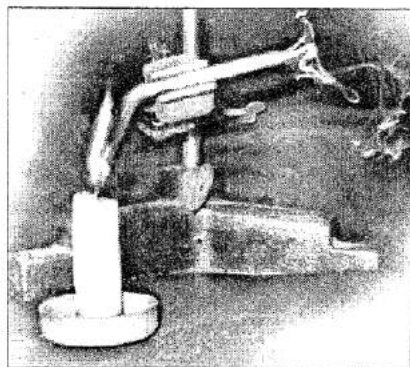
Обладнання: свічка, сірники (запальничка), зігнута скляна трубка з вузьким кінцем (мал. 4) і штатив із тримачем.



Мал. 4

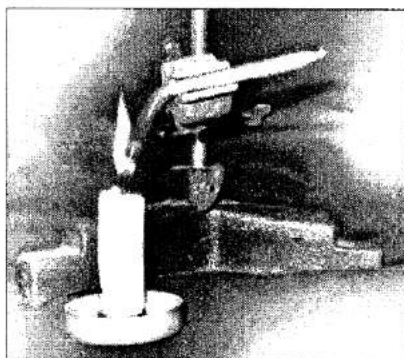
Виконання досліду

Закріпіть скляну трубку тримачем так, як зображено на мал. 5. Кінець трубки має бути на 1–2 мм вище від гніту. Підпаліть свічку. За деякий час ви побачите, як з трубки почала виходити біла речовина – парафін.



Мал. 5

Якщо спробувати підпалити цю речовину, то на кінці трубки з'явиться маленький вогник (мал. 6). Цим дослідом ми доводимо, що біла гніту є пара



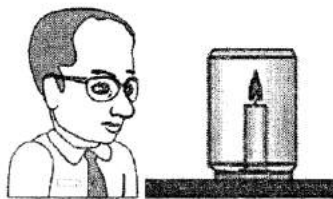
Мал. 6

парафіну, яка в скляній трубці конденсується в парафіновий туман. Саме його ми бачимо у вигляді білого струменя, коли гасимо свічку. Якщо піднести до нього запалений сірник на відстані 1 см від гніту, ви побачите, як свічка миттєво спалахне.

Цікаво, що піднявши скляну трубку трохи вище, в зону, де полум'я свічки яскраво-жовте, з трубки почне виходити чорний дим, який буде одразу ж опускатися. Це частинки вуглецю, які не встигли згоріти. Молекули парафіну складаються з атомів вуглецю (C) і водню (H), які під час горіння утворюють, з'єднавшись з атомами кисню, вуглекислий газ (CO_2) та воду (H_2O).

Переконатися в тому, що в продуктах горіння є вода, допоможе простий дослід. Треба запалену свічку накрити зверху скляною банкою. Ви побачите, як полум'я з часом стає все меншим, доки зовсім не згасне, тому що для горіння потрібен кисень, а в банці його вже нема. Пара води,

яка є виділяється під час горіння, конденсується частково на стінках банки у вигляді маленьких крапельок.

**Дослід 2**

Мета: оцінити температуру полум'я свічки.

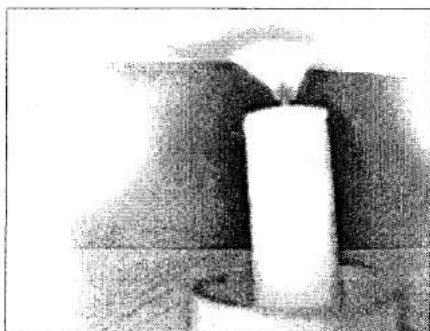
Обладнання: свічка, аркуш паперу, сірники (запальничка), тарілка з водою.

Увага. Під час виконання досліду може загорітись аркуш паперу, тому тарілка з водою має стояти поряд із свічкою. **Якщо аркуш загорівся, покладіть його в тарілку з водою.**

Виконання досліду

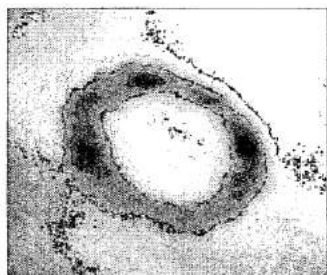
Внесіть аркуш паперу в полум'я свічки, рухаючи його горизонтально (мал. 7). Потримайте декілька секунд аркуш над полум'ям і побачите, як на його зворотньому боці з'явиться кільце (мал. 8).

Папір починає обвуглюватися, там де температура полум'я свічки була вища від температури горіння паперу ($\approx 500^\circ\text{C}$). Отже, можна стверд-



Мал. 7

жувати, що всередині полум'я температура нижча, ніж з країв. Це стає зрозумілим, якщо згадати, що там є пара парафіну.



Мал. 8

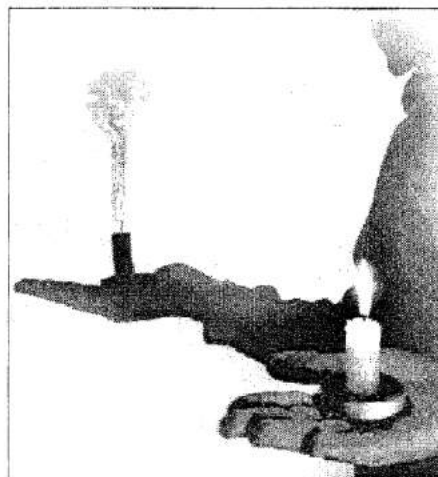
Якщо поглянути на аркуш паперу, який був з боку свічки (мал. 9), крім кільця, ми побачимо чорні утворення. Це звичайна сажа, яка була в полум'ї і не встигла згоріти внаслідок порушення конвекційних потоків повітря навколо полум'я.

До речі, тінь від конвекційних потоків можна побачити на білому екрані, якщо освітити потужним джерелом світла свічку (мал. 10). Це здається



Мал. 9

неймовірним, адже вуглекислий газ і пари води прозорі. Але вони мають більшу температуру, ніж довколишнє повітря, і внаслідок цього інші оптичні властивості.



Мал. 10

Зверніть увагу на те, що спочатку нагріті гази від свічки рухаються рівним потоком (ламінарним), а на відстані приблизно 10 см починають утворювати вихори (турбулентний потік). Далі тінь від них зникає, тому що гази охолоджуються, перемішуючись з доточуючим повітрям, і їхні оптичні властивості стають однаковими. Але це питання наступних занять.

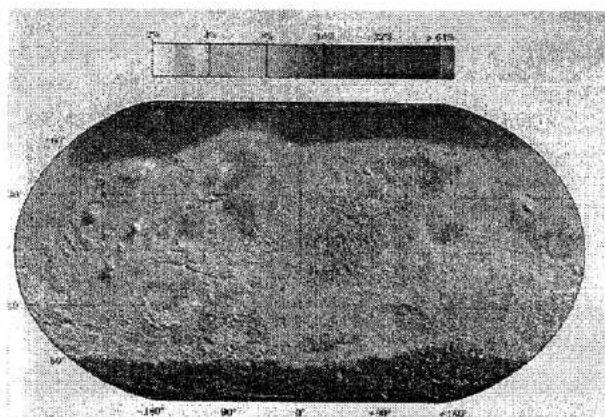
Сподіваюсь, що за розумінням фізичних процесів, які відбуваються під час горіння свічки, Ви не перестанете насолоджуватися її красою...



Наукові досягнення 2004 року

Наприкінці кожного року американський журнал *Science* проводить аналіз найвизначніших наукових досягнень. Зазвичай у редакційних статтях аналізують лише наукові аспекти прогресу світової науки, однак тепер акценти децю змінені – автори приділили серйозну увагу низці наболілих проблем, з якими їм довелося зіткнутись у різних країнах. Зауважмо, що *Science* – це офіційний друкований орган, який заснувала 1848 року Американська асоціація для підтримання науки (AAAS – *The American Association for the Advancement of Science*). Отже, увага його редакторів віддзеркалює думку провідних учених наукового товариства США.

Перелік досягнень традиційно містить десять найяскравіших у році, який минає. *Першу* сходинку в рейтингу 2004 року зайняли *підсумки досліджень марсіанської поверхні* за допомогою американських марсоходів-роверів Spirit та Opportunity, а також європейської орбітальної станції Mars Express.



Отримані результати переконливо свідчать на користь гіпотези, про те, що кілька мільярдів років тому на поверхні Червоної планети існували величезні солоні водойми, у яких, напевно, могли існувати живі організми в земному розумінні цього поняття. Автор статті про дослідження Марса Річард Керр вважає, що ці результати знаменують важливу віху багаторічної історії пошуку позаземного життя.

Другими в рейтингу стали палеонтологи й антропологи з Австралії та Індонезії, які здійснювали розкопки в одній із печер індонезійського острова Флорес.

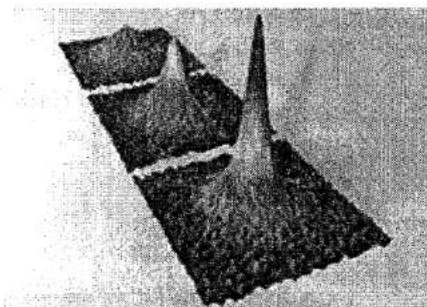
У жовтні ці науковці вразили світ повідомленням про те, що кілька тисяч років тому там жили людиноподібні вищі примати карликового зросту, які мали дуже маленький мозок, однак вміли виго-

товляти примітивні кам'яні знаряддя. На думку відкривачів, їм пощастило віднайти новий вид, який заслуговує на самостійне ім'я *Homo floresiensis* (неофіційно цих істот охрестили флоресівськими хобітами). Щоправда, деякі фахівці стверджують, що загадкові істоти насправді були лише виродженими до мікроцефалії представниками виду *Homo sapiens*. Ймовірно, дискусія триватиме до закінчення досліджень викопних рештків, які знайдено в тій же печері (наразі ці роботи призупинено, оскільки учасники експедиції сперечаються про те, хто має пріоритетне право на дослідження віднайдених кісток).



Третіми стали біотехнологи з Південної Кореї, які першими строго довели *зможу клонувати людські ембріони*. Працівники Сеульського університету не лише створили тридцять таких ембріонів, а й виділили звідси мультипотентні стовбурові клітини і сформували з них єдину колонію. Коли клітини з цієї колонії перенесли до організму мишей, вони стали трансформуватися в різноманетні спеціалізовані тканини.

Четверте місце редактори Science віддали *новим дослідженням у галузі наднизьких температур*. Як відомо, 1995 року фізикам уперше вдалося створити конденсат Бозе-Айнштейна. Це особлива форма матерії, яка має квантову природу. Частинки, з яких складається конденсат, втрачають власну індивідуальність і утворюють єдиний квантовий ансамбль. Квантовий конденсат може виникнути лише при наднизькій температурі, причому до нього переходять винятково бозони, частинки з цілочисельним спіном. Ферміони, частинки із напівцілим спіном, не можуть одночасно перебувати в одному й тому ж квантовому стані й тому не здатні утворити конденсат навіть при абсолютному нулі. Однак квантова механіка допускає конденсацію спарених ферміонів, оскільки сумарний спин кожної пари таких частинок має цілочисельне значення.

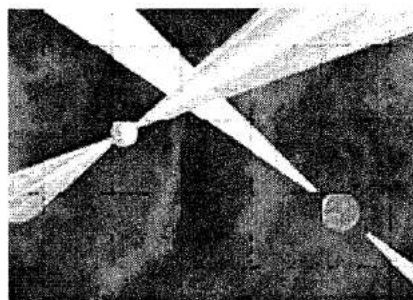


У листопаді 2003 року фізики з Австрії та Сполучених Штатів Америки вперше повідомили про отримання квантових конденсатів на основі молекул, утворених атомами-ферміонами. Такі молекули поводити себе як локалізовані в просторі єдині частинки з цілим спіном, через це під час глибокого охолодження вони утворили справжній конденсат. Ці дослідження були успішно продовжені 2004 року. Експериментаторам вдалося розширити спектр конденсованих станів, зокрема, отримати твердотільний аналог конденсату Бозе-Айнштейна.

На *п'ятому* місці *молекулярна генетика*. Науковцям давно відомо, що вся інформація про структуру білків займає лише невелику частину людського генома – менше ніж десять відсотків. Донедавна вони вважали решту понад дев'яносто відсотків генома своєрідним смітником біологічної еволюції. Однак тепер стало зрозуміло, що ці нібито непотрібні фрагменти ДНК виконують безліч важливих функцій в життєдіяльності кліти-

ни, зокрема, беруть участь у регулюванні активності генів. Ця концепція 2004 року отримала цілу низку переконливих підтверджень, які відзначили редактори Science.

На *шостій* сходині – *відкриття першої подвійної системи, утвореної пульсарами* – нейтронними зорями, які швидко обертаються і випромінюють потужні потони електромагнетного випромінювання.



На *сьомому* місці – *праці екологів із різних країн, які довели, що кількість видів тварин і рослин, які населяють Землю, невпинно скорочується*. Восьме місце займають нові дослідження структури рідин, виконані за допомогою синхротронного x -випромінювання. На *дев'ятій* сходинці – *колективні зусилля міжнародних організацій, державних установ та приватного бізнесу, спрямовані на боротьбу зі СНІДом, малярією та іншими інфекційними захворюваннями*. Десятим є *відкриття низки раніше невідомих генів у глибоководних мікроорганізмів*.

У публікації Science є й *мінорні ноти*. Зауважено, що за першого президентства Буша погіршилися відносини між Білим домом та науковим товариством. Науковці відкрито критикують нинішню адміністрацію за її наукову політику, зокрема, небажання брати участь у боротьбі з усевітнім потеплінням та надто жорстке й ідеологічно мотивоване регулювання досліджень людських ембріональних стовбурових клітин. Науковці Франції й Італії незадоволені скороченням наукових бюджетів та спробами обмежити державні уряди на академічні свободи. У деяких країнах активізуються суспільні рухи, які вимагають обмежити спектр наукових досліджень. Редактори Science впевнені, що міжнародна наукова спільнота має знайти спосіб адекватно реагувати на ці тривожні реалії.

За матеріалами журналу Science, та інтернет-ресурсу <http://grani.ru/Society/Science>.

ФЕСТИВАЛЬ ФІЗИКИ, МАТЕМАТИКИ ТА ДРУЖБИ

Організатори фестивалю готувались до зустрічі гостей дуже ретельно: у санаторії-профілакторії Дрогобицького педагогічного університету було впорядковано кімнати для проживання учасників, Інститут фізики, математики та інформатики Університету, надали приміщення для проведення фестивалю, адміністрація та викладачі Дрогобицького педагогічного ліцею докладно опрацювали програму заходу, спланували для його учасників екскурсії історичними місцями



Команда школярів із Дрогобицького педагогічного ліцею "Ерудит"

Дрогобича, а також до Нагуєвич, Кульчиць, Східниці. Побували гості на концерті органної музики у м. Самборі.

На офіційне відкриття фестивалю, яке відбувалось 10 листопада 2004 року, прибули директор департаменту гуманітарної політики Дрогобицької міської ради Костянтин Іваночко, директор Інституту фізики, математики та інформатики Університету професор Василь Бойчук, завідувач відділу освіти м. Дрогобича Петро Сушко, президент асоціації "Відроджені гімназії України" Ярослав Турянський. Кожен з доповідачів відзначав важливість такої події для міста Дрогобича та регіону.

Ведучі фестивалю Ірина Новожилова та Роман Хлопик запрошували на сцену учасників, які розповідали про себе, свій навчальний заклад та своє місто. Особливо сподобався учасникам команди гімназії м. Бровари, під час якого складалося враження, що школярі привезли із собою частинку душі Наддніпрянської України.

Безпосередньо змагання розпочались наступного дня, коли учасникам належало виявити найсильнішого з фізики. Ігри проводили за кубковою системою: усі команди за жеребкуванням було поділено на пари, а до наступного туру виходив переможець.

Переможцем фізичного етапу Першого українського фізико-математичного фестивалю стала команда "Ерудит" Дрогобицького педагогічного ліцею, на другому місці – команда спеціалізованої школи № 6 м. Лубни, на третьому – одесити. На математичному етапі фестивалю перемогу святкувала команда з м. Лубни, другими були школярі з Новоград-Волинського, третіми – дрогобичани. Абсолютним переможцем за загальною сумою балів журі визнало команду Дрогобицького педагогічного ліцею, друге місце посіли школярі спеціалізованої школи № 6 м. Лубни, на третьому місці – команда ліцею "Приморський" з м. Одеси.

Своїми враженнями про перебіг змагань поділився один з ведучих фестивалю, учитель фізики Дрогобицького педагогічного ліцею Роман Хлопик:

"Трохи перенервував на початку, коли усі втягувалися в роботу і ще не знали чітко, що й до чого. Відмінність між першим та другим днем змагань була великою. Спочатку проводили фестиваль фізичний. Якщо фестиваль пройшов добре, то на брейн-рингу виникли деякі організаційні проблеми, їх врахували й наступного дня усе йшло краще."

Чи заслужено перемогла на цьому турнірі команда Вашого ліцею?

Я б не сказав, що ми були найсильнішими, просто інші команди виявились слабшими за нас. Адже якщо команда-переможець набирає лише половину від загальної кількості балів, то це свідчить само про себе. На мою думку, все-таки це мало.

У чому ж причина такого невисокого відсотка виконання конкурсних завдань?

Насамперед – у жорсткому регламенті часу, який було відведено на виконання завдань. Розв'язати складну задачу за 15 хвилин важко, навіть якщо працює вся команда. Те саме з тестами: 10 завдань за 10 хвилин, а ще потрібно було встигнути ознайомитися з умовами завдань. Слід також враховувати те, що команди не відразу втягнулися в роботу, потрібен був час для адаптації.

Вам доводилось вести матчі команд, де учасниками були Ваші школярі. Чи не відчували Ви дискомфорт?

Були певного роду незручності, до того ж, коли в ході фестивалю припускали, що нашій команді допомагають. Такого не могло бути, адже завдання складали виключно викладачі університету.

Які команди справили на Вас найкращі враження?

Дуже приємно здивувала команда із Жовкви. По-перше, це єдина команда, де були тільки дівчата. По-друге, після перших двох турів першого дня змагань вони з одеситами були лідерами. Добре виглядала команда Одеси, особливо у грі "Коллектив". Тут їм не було рівних ані з фізики, ані з математики. За час фестивалю дуже зросла команда Новоград-Волинського. Якщо першого дня вона виглядала статистом (зайняла сьоме місце), то наступного дня – була уже другою, до того ж, перемогла в математичному брейн-рингу. Сильна команда з м. Лубни. Якщо підбивати підсумки за місцями, то перше місце належить їй (перше місце з математики, та друге – з фізики, наша ж команда була першою на фізичному фестивалі та третьою серед математиків). Нам вдалося обійти суперників тільки за загальним підсумком балів.

Які проблеми на фестивалі дошкуляли найбільше?

Одна з найбільших – за якою формою проводити фестиваль, адже не було відомо, скільки прибуде команд. Коли з'ясувалось, що їх буде вісім, вирішили поставити усіх в однакові умови. Мені здається, що це себе виправдало.



Учасники фестивалю – школярі спеціалізованої школи № 6 м. Лубни Полтавської області

Чи задоволені Ви як учитель фізики результатами виступів своїх школярів?

Загалом задоволений, тому що напередодні фестивалю планували ввійти до трійки лідерів.

Результати виступу своїх учнів коментує Віра Підбуська – учитель математики Дрогобицького педагогічного ліцею: "Вважаю, що наша команда виступила дуже гідно. Кожен з членів команди зарекомендував себе якнайкраще: Женя Раздрогін чудово опонував і засипав суперників запитаннями, Володя Золотой показав блискуче вміння застосовувати теорію на практиці, Михайло Козак – єдиний з усіх учасників, який зумів взяти максимальну кількість балів у конкурсі "Один за всіх", Ігор Кугівчак впевнено давав відповіді на найскладніші завдання брейн-рингу, а Марійка Табачук – справжній капітан, вона не дозволяла хлопцям розконцентруватися мудро керувала їхніми діями. Думаю, що такого капітана хотіли б мати всі команди. Дуже імпонувало, що в актовій залі, де проходив фестиваль, панувала щира й доброзичлива атмосфера, не було заздрощів чи інтриг.



Школярі ЗНВО "Гімназія ім. Лесі Українки – ДНЗ" з м. Новоград-Волинська

Останнього дня фестивалю переможців та всіх учасників тепло привітав голова оргкомітету, ректор Дрогобицького педагогічного університету імені Івана Франка Валерій Скотний. Він також підбив підсумки роботи фестивалю, нагородив переможців та подякував усім учасникам і тим, хто брав участь в його організації. На закінчення фестивалю відбувся невеликий концерт.

Своїми думками щодо роботи фестивалю ділився з нами голова конкурсного журі з фізики З. Дробчак: "Думаю, що фестиваль вдався. Такі заходи дуже потрібні, тому варто було б проводити фестиваль і в майбутньому, але слід розширити його "географію" та запрошувати до участі сильні команди, наприклад, Львівського фізико-математичного ліцею. На цьогорічному фестивалі в мене найглибші враження залишила команда спеціалізованої школи № 6 із м. Лубни".

Учитель математики гімназії ім. С. Олійника з м. Бровари Київської області Олена Тарасова: "Дякуємо всім, хто організував фестиваль та забезпечив його високий рівень. Ми вражені теплим прийомом та увагою, з якою нас оточили у вашому місті. Важко переоцінити значення таких заходів. У нашій гімназії заплановано в найближчій перспективі відкрити клас технологічного профілю, тому головним завданням для мене та команди було ознайомитись з організацією роботи подібних заходів, зустрітись з колегами та набути такого потрібного для майбутньої роботи досвіду."

У день закриття фестивалю нам вдалося поспілкуватись із керівником команди ліцею "Приморський" з м. Одеси Ларисою Поповою:

Розкажіть, будь ласка, про свій навчальний заклад?

Ліцей "Приморський" з м. Одеси працює вже тринадцять років. Школярі навчаються від восьмого класу, але профілізація навчання здійснюється від десятого, коли кожен обирає для навчання гуманітарний, математичний чи хемічний профіль. Ми тісно співпрацюємо з вищими навчальними закладами, студентами яких наші школярі стають найчастіше. Передусім, із Одеським національним політехнічним університетом, який є нашим засновником, а також із Одеським національним університетом, Національною морською академією, Економічним університетом. Хочу зауважити, що наші випускники майже завжди вступають до цих навчальних закладів на державну форму навчання.

Що спонукало Вас приїхати на цей фестиваль?

Наші школярі є учасниками багатьох олімпіад, конкурсів, турнірів. Намагаємось не пропускати таких заходів. Наша команда неодноразово ставала переможцем і призером багатьох з них.

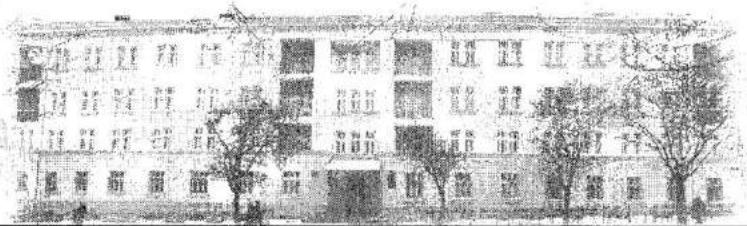
Які враження маєте про наше місто?

По-перше, було дуже цікаво. Ми вперше в Дрогобичі, тому дуже сподобалась запропонована культурна програма, особливо екскурсія "Стежками Івана Франка" у село Нагуєвичі, яку провів директор ліцею Михайло Гуняк. По-друге, мали змогу познайомитись з людьми, для яких, як і для нас, математика – улюблений предмет. Тому можемо впевнено сказати, що наступного разу обов'язково приїдемо до вас знову.

За пропозицією оргкомітету фестивалю керівництво Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка запросило школярів з команди-переможців навчатися в Інституті фізики, математики та інформатики Дрогобицького педагогічного університету.



ІСТОРІЯ ФАКУЛЬТЕТУ ЕЛЕКТРОНІКИ



Ігор Половинко

*професор, декан факультету електроніки
Львівського національного університету
імені Івана Франка*

Електроніка як наука виникла ще на початку минулого сторіччя й була покликана вивчати взаємодію заряджених частинок (електронів і йонів) з електромагнетним полем. Водночас почали розвивати методи створення електронних приладів, які використовували для передачі, опрацювання та збереження інформації. Спочатку розвивали вакуумну електроніку, а на її підставі створювали електровакуумні прилади. На початку 1950-х років інтенсивно розвивалася твердотільна електроніка, насамперед напівпровідникова. У 1960-х роках виник один із найперспективніших напрямів – мікроелектроніка, яку ще називають інтегральною електронікою. Вона пов'язана із створенням та використанням у радіоелектронній апаратурі вузлів і блоків мікромініатюрних розмірів. Винахід оптичних квантових генераторів привів до бурхливого розвитку нового розділу електроніки оптоелектроніки. Ця наука пов'язана з ефектами взаємодії оптичного випромінювання з електронами в речовині та їхнім використанням для генерації, передавання, збереження, опрацювання й відображення інформації. Нині розвиваються все нові й нові галузі електроніки – кріоелектроніка, нанoeлектроніка, біомедична електроніка та інші.

Вчені-фізики, викладачі Львівського національного університету імені Івана Франка брали активну участь у дослідженнях у різноманітних галузях електроніки, створенні нових приладів, їхнього активного використання для медичних цілей, екології та приладобудування. У цьому ж напрямі велась і підготовка студентів. Перші дослідження стосувались фізичної електроніки та радіоелектроніки. На кафедрі теоретичних основ електрорадіотехніки під керівництвом проф. М. Максимовича розпочали роботи, що були пов'язані з передаванням та перетворенням інформації на підставі використання радіочастотних електро-

магнетних коливань і хвиль. Основний наголос робили на радіотехніку. Результати широко використовують у більшості галузей сучасної науки і техніки.

На кафедрі загальної фізики 1956 року Б. Палох, розвиваючи дослідження, які розпочав ще під час виконання дипломної роботи у Ленінградському фізико-технічному інституті, захистив кандидатську дисертацію на тему "Резонансна перезарядка йонів і атомів ртуті, криптону і ксенону". Кандидатську дисертацію на тему "Резонансна перезарядка позитивних йонів і атомів калію і цезію" 1959 року захистив Р. Кушнір. Його результати знайшли відгук у багатьох науковців і були використані в теоретичних працях, присвячених розвитку сучасних уявлень про атомно-йонні зіткнення. За комплекс науково-дослідних робіт з фізики поверхні (пошук матеріалів з низькою роботою виходу для роботи в двигунах космічних апаратів та покрить, які забезпечували прозорість вікон літальних апаратів під час їхньої тривалої експлуатації в режимі опромінення космічним випромінюванням) керівника роботи доц. Б. Палоха 1975 року нагородили пам'ятною медаллю і грамотою Центру керування польотом спільного радянсько-американського корабля "Союз-Аполлон" як учасник підготовки і забезпечення управління польотом.

На кафедрі фізики напівпровідників досліджували електронні процеси в анізотропних напівпровідниках і низькорозмірних структурах (проф. Й. Стахіра) та розвивалось напівпровідникове матеріалознавство оксидних сполук (проф. М. Пашковський). Упродовж 1980-х років було сформовано науковий напрям досліджень у галузі твердотільної електроніки, зокрема в напівпровідниковій електроніці, оптоелектроніці, радіаційній



фізиці напівпровідників та діелектриків. Вагомий науковий доробок був акумульований на кафедрі фізики напівпровідників і в Інституті прикладної фізики (проф. В. Савицький). Розроблено оригінальні методики формування та дослідження поверхнево-бар'єрних структур, які становлять основу під час виготовлення твердотільних електронних пристроїв. Продовжувались дослідження процесів утворення та еволюції радіаційних дефектів у лужно-галоїдних кристалах, розпочаті під керівництвом проф. М. Цаля, які актуальні для розроблення систем радіаційного та біологічного моніторингу.

На кафедрі радіоелектронного матеріалознавства була освоєна методика вирощування монокристалів галій-гадолінієвого гранату. Впроваджена в Львівському науково-дослідному інституті матеріалів, вона дала змогу отримати плівки з циліндричними магнетними доменами, які відкривали нову еру в магнетоелектроніці. У цьому ж матеріалі згодом виявлено фотоелектретний стан. Від 1997 року наукові інтереси кафедри пов'язані з технологічними, теоретичними та експериментальними дослідженнями електричних та магнетних властивостей високотемпературних надпровідникових матеріалів. Досліджено особливості формування надпровідної кераміки, фізичні властивості в нормальному та надпровідному станах. Встановлено взаємозв'язок між технологіями одержання надпровідних матеріалів і їхніми фізичними параметрами (проф. Р. Луців).

Розгортання у 1967–1977 рр. науково-дослідних робіт з параметричної кристалооптики та нелінійних оптичних явищ у кристалах на кафедрі експериментальної фізики привело до відкриття явища електрогірації в кристалах (диплом № 211, 1979, автори доц. О. Влох та професор І. Жолудев). На той час це було перше відкриття на теренах Західної України. Пов'язане з цим підвищення зацікавленості до наукових досліджень сприяло відкриттю 1979 року на фізичному факультеті Університету кафедри нелінійної оптики, яка виокремилась з кафедри експериментальної фізики.

Початок ХХІ сторіччя поставив перед вищою школою завдання подальшого розвитку досліджень у галузі електроніки та підготовки фахівців, які оволоділи широким обсягом знань у цій галузі. Це, зокрема, передбачає розуміння нових

фізичних принципів та вміння застосовувати їх для створення різноманітного електронного обладнання, нових функціональних матеріалів, сенсорів фізико-технічних параметрів, медичного устаткування, приладів для моніторингу екологічного стану довкілля. Усвідомлюючи виняткову роль фізичної науки в творенні поступу суспільства, розуміючи її особливу вагу для розвитку промисловості, науково-технічного потенціалу, обороноздатності України, прагнучи підняти престиж фізичних знань, 26 лютого 2003 року рішенням Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка було утворено факультет електроніки.

Факультет продовжив багаті традиції експериментальних досліджень фізичного факультету. Почали інтенсивно розвиватись прикладні дослідження, створюватись конкурентноспроможні напрацювання. Ось деякі з них. Розроблені детектори випромінювання на підставі нових технологічних підходів. Оптимізовані методи газозфазної епітаксії у ВЧ-ртутній плазмі та лазерній ерозійній плазмі. Комплексне застосування цих методів дало змогу одержати нові фоточутливі структури.

Виготовлено термосенсори на підставі напівпровідникових переходів у кремнію, здатних працювати до температур майже 300° С. Досліджено їхні метрологічні характеристики. Розроблено функціональну і принципову схеми лабораторного макета пристрою інтелектуального оптоелектронного фотоплетизмографічного сенсора. Виготовлено макет приладу "Гемоксиметр ППЛ-01". Запропоновано алгоритм роботи мікроконтролера для лабораторного пристрою, що дає змогу проводити визначення розмірного розподілу клітинних мікробіологічних об'єктів. Розроблена методика автоматизованої експертної оцінки ефективності фільтрації води фільтрами "Анти-іржа". Виготовлено дослідний макет блоку подавання води БПР-1, проведено його тестові випробування.

Вдосконалено раніше розроблені вимірювачі тиску ДМТ-2Н. За три роки експлуатації вони не змінили своїх метрологічних характеристик, що значно перевищує аналоги відомих світових виробників, зокрема американської фірми Fisher-Rosemount. Виготовлені й передані для експлуата-



ції у філії магістральних нафтопроводів "Дружба" та "Укрнафта" портативні термометри серії ТП та забезпечено їхній авторський нагляд і сервісне обслуговування.

Представлено низку інноваційних проєктів: "Доробка на базі нових спектральних інформаційних технологій і організація випуску пристрою "Геоксиметр", "Система кардіоаналізу портативна з дистанційною передачею даних", "Оптоелектронний пристрій ПРМ-10 для гранулометричного контролю забруднень рідинних середовищ механічними домішками", "Створення незалежного центру екологічної експертизи на моніторингу довкілля Львова" тощо.

Викладачі факультету електроніки читають основні курси та спецкурси для студентів, а також курси з програмування та математичного моделювання, електроніки, основ радіоелектроніки, квантової електроніки, електрики та ядерної фізики для студентів фізичного факультету. Факультет готує фахівців з трьох спеціальностей, дві з них: радіофізика і електроніка та прикладна фізика перейшли з фізичного факультету. Спеціальність фізична та біомедична електроніка відкрита 2003 року.

Студентів готують викладачі та співпрацівники шести кафедр: електроніки, нелінійної оптики, радіоелектронного матеріалознавства, радіофізики, фізики напівпровідників, фізичної та біомедичної електроніки. На цих кафедрах працює 45 викладачів, зокрема 10 професорів, докторів наук. Серед них три лавреати Державної премії. Це професори Й. Стахіра, М. Пашковський, Р. Луців, заслужений діяч науки і техніки проф. Л. Синицький. Після другого курсу студенти мають змогу вибрати одну із восьми спеціалізацій: біомедична електроніка, комп'ютерні системи і мережі, науково-технічна експертиза і радіоекологія, оптоелектронна інформатика, напівпровідникова електроніка, фізична електроніка, радіоелектронне матеріалознавство, радіофізичні системи. Спеціалізація здійснюється під керівництвом досвідчених викладачів та наукових співпрацівників кафедр у різноманітних науково дослідних лабораторіях, що володіють сучасним науковим обладнанням та обчислювальною технікою. Це акредитована лабораторія гамма-спектроско-

пії, яка має змогу проводити радіоекологічну експертизу та робити висновок щодо стану радіаційного забруднення довкілля. Важливі наукові дослідження проводяться також у лабораторіях сенсорики, оптоелектронних матеріалів, радіоелектронних приладів та ін. На факультеті функціонує навчальна обчислювальна лабораторія, майже всі кафедри і лабораторії мають доступ до мережі Інтернет та з'єднані між собою за допомогою єдиної комп'ютерної мережі. Для забезпечення навчального процесу факультет готує нові навчальні програми, видає методичну та навчальну літературу. Курсові та дипломні роботи студентів факультету охоплюють різноманітні проблеми сучасної електроніки, що мають фундаментальне і прикладне значення, зокрема такі, як комп'ютерне моделювання фізичних процесів, комп'ютерні мережі і системи, фізика медико-біологічних систем, матеріали напівпровідникової електроніки, високотемпературна надпровідність, лазерні вимірювальні системи, оптичний зв'язок, моніторинг радіоекологічного стану довкілля. Щороку відбуваються студентські наукові конференції, конкурси наукових праць. Найкращих студентів відзначають іменними стипендіями та преміями.

Випускники факультету обіймають посади інженера-дослідника, молодшого наукового співробітника в наукових установах, інженера на виробництві в галузях електронної техніки та приладобудування, у підрозділах науково-технічної й радіоекологічної експертизи державних установ, інженера-дозиметриста на атомних електростанціях.

Науковці та викладачі факультету підтримують тісні контакти з багатьма університетами та науковими інститутами в Україні і за її межами. Це Віденський, Вроцлавський, Ліонський, Гданський, Московський та інші відомі університети. Наші науковці проводять дослідження в лабораторіях Німеччини, Франції, Нідерландів, Великобританії, Польщі та Росії. Вони часто виїжджають на різноманітні міжнародні конференції, проводять такі конференції й у Львові. Тому студенти факультету мають змогу спілкуватись із видатними науковцями в галузі електроніки, стажуватись або навчатись у престижних навчальних закладах Європи.

Десять найважливіших досягнень 2004 року у галузі фізики та астрономії

1. Осіріс – це планета, що випаровується

Планета HD209458b ("Осіріс"), розмішена на віддалі 153 світлових років від Землі, стала першою планетою, у якій вдалось виявити атмосферу. До того ж, вдалось навіть встановити, що ця планета випаровується своїм сонцем – вона втрачає свою атмосферу.

2. Подвійний пульсар, який став двічі подвійним пульсаром

Повідомлення, яке з'явилося на початку грудня 2003 року, про появу незвичайної системи – радіопульсару, що входить у пару з нейтронною зорею, – отримано продовження. Насправді об'єкт виявився цікавим ще й тим, що обидві компоненти подвійної системи є пульсарами! Немає сумніву, що ця система стане об'єктом докладного вивчення і джерелом нових даних у астрофізиці, фізиці нейтронних зір, гравітації і теорії гравітаційного випромінювання.

Варто згадати ще про одне цікаве відкриття, яке також пов'язане з нейтронними зорями і системами подвійних зір – знайдена друга компонента подвійної системи, в якій відбулася одна із знаменитих спалахів наднових у нашій галактиці – наднової зорі Тихо Браге (1572).

3. Синтез 113-го і 115-го елементів таблиці хемічних елементів

Російським фізиком у співпраці з американськими колегами вдалось зареєструвати синтез двох нових надтяжких елементів – 113-го і 115-го. Згодом відкриття 113-го елемента було підтверджено японськими науковцями, а 115-ий поки що чекає ще свого підтвердження. В подібних експериментах фізиком доводиться працювати на межі можливого – потрібно зареєструвати одиничні акти утворення нових елементів.

4. "Ферміонний конденсат"

Це продовження успіхів кінця 2003 року, коли декільком групам науковців уперше вдалось спостерігати Бозе-конденсацію двоатомних молекул. Лише в цьому випадку Бозе-конденсація проходить в іншому режимі, який нагадує той, що характерний для надпровідників. Цим, значною мірою, й обумовлюється зацікавлення до "ферміонних конденсатів".

5. Чорна діра розірвала зорю: прямі спостереження

Над масивною чорною дірою, яка знаходиться в центрі галактики, розірвалася приливними силами зоря, яка пролітала надто близько до неї. Це явище давно передбачили теоретично, однак "наяву" спостерігали вперше.

6. Виявлення надтекучості твердого гелію

Це відкриття, яке підтверджене згодом, може суттєво розширити наше уявлення про явище надтекучості, яка раніше ніяк не асоціювалася з твердими тілами.

7. Виявлена нова частинка – X(3872)

Відкриття цієї частинки підтвердили минулого року деякі дослідники експериментально. Ця частинка не вписується ні в одну з відомих схем класифікації елементарних частинок: маса X(3872) і схема її розпаду не відповідають ніяким теоретичним передбаченням.

8. Надпровідник на основі алмазу

Російським і американським науковцям удалось отримати новий надпровідник на основі алмаза (шляхом легування його бором), причому з рекордною для такого типу надпровідників критичною температурою (2,3 К).

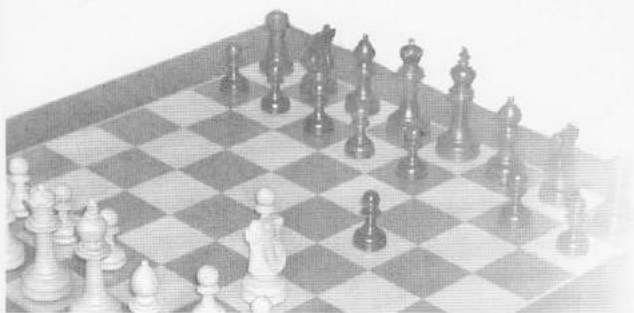
9. "Ігри" зі спіном окремого електрона

Квантові комп'ютери і спінтроніка – в останні роки дуже популярна тематика. Із успіхів минулого року варто відзначити працю нідерландських науковців, які навчилися визначати орієнтацію спіна окремого електрона в твердотільній структурі методом, зручним з практичної точки зору. Зазначмо, що незадовго до цього "відчутти" спін окремого електрона за допомогою магнетної резонансної силової мікроскопії змогли американці.

10. Нейтральні В-мезони і нова фізика

Японські науковці з прискорювального центру КЕК ведуть дослідження CP-порушення (деякої відмінності властивостей частинок і античастинок) у системі нейтральних В-мезонів. Це саме собою важливо і цікаво для фізики частинок, але "попутно" отримані нічим не гірші дані: не можна вилучити те, що під час процесів розпаду нейтральних В-мезонів відбуваються переходи відомих елементарних частинок, які поки що невідомі.

За матеріалами www:/Scientific.ru



50 РОКІВ

**ВІДОМОМУ ГРОСМАЙСТЕРУ
АДРІАНУ МИХАЛЬЧИШИНУ**

Адріан Михальчишин народився 18 листопада 1954 року у Львові, закінчив фізичний факультет Львівського державного університету імені Івана Франка, а долю свою пов'язав з шахами. Нині він – міжнародний гросмайстер із світовим іменем, автор понад 18-ти книжок (які надруковані в Англії, США, Югославії, Іспанії, Італії та ін. різними мовами).



Адріана Михальчишина вітають з ювілеєм торгово-економічний консул Генерального консульства Польщі у Львові Міхал Узембло та ректор Львівського національного університету імені Івана Франка Іван Вакарчук



*Адріан Михальчишин
під час ювілейних святкувань
(м. Львів, 18 листопада 2004 року)*

Адріан Михальчишин пише статті, читає лекції, дає поради молодим, організовує турніри. Зокрема, й дописувач журналу "Світ фізики" (дивіться "Фізики і шахи", "Світ фізики", 2003, № 1. С. 47–48). Напевно класична університетська освіта допомагає Адріанові займатися сьогодні такою діяльністю – навчати та передавати досвід іншим не лише в Україні, а й за кордоном, адже, А. Михальчишин сьогодні тренує інших у Словенії, Німеччині та ін.

Увесь шаховий світ вітає знаменитого Адріана Михальчишина з 50-ти річчям від дня народження. Редакція та читачі журналу "Світ фізики" долучаються до цих привітань. Бажаємо йому великих шахових досягнень, успіхів його учням, творчого натхнення, здоров'я та щастя.

*Дружній шарж
із колекції Івана Яремка*



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



Микола з житієм.

Кін. XVI ст., 112x91, с. Рихтичі, Львівської обл.