

СВІТ

ФІЗИКИ

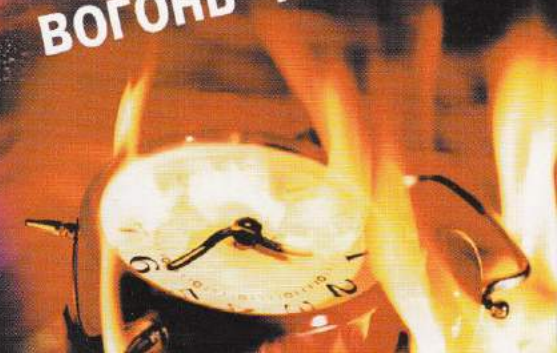
№4
2000

науково-популярний журнал



**Квант — це
геніальна
здогадка чи
«вимушений»
крок ?**

**Яким буде кінець світу:
вогонь чи лід?**



*З Різдвам Христовим!
З Третім тисячоліттям!*

„ЄВРОСВІТ” 2001 року для підтримки обдарованих і малозабезпечених школярів та студентів України надає 50 безкоштовних передплат журналу „Світ фізики”.

**Копії документів, що підтверджують творчі здобутки та матеріальний стан претендентів просимо надсилати до 31 березня 2001 року за адресою:
а/с 6700, 79005 м. Львів.**

**Тел.: 0332 40-31-88, 40-31-89,
ел. пошта: phworld@panko.lviv.ua.**

С В І Т
Ф І З И К И

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

4(12) '2000

Журнал „СВІТ ФІЗИКИ”,
заснований 1996 року,
реєстраційне свідоцтво № KB 3180
від 06.11.1997 р.
Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк

СП „Євросвіт”

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів, 79005

Україна

тел./факс 380 322 40 31 88, 40 31 89

sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Шановні читачі журналу „Світ фізики” !

*Щиро вітаємо Вас на межі тисячоліть,
бажаємо вагомих творчих здобутків
у 2001 році!*

*Державний фонд фундаментальних
досліджень започаткував програму
конкурсної підтримки наукових видань.
Бібліотека Фонду цього року поповниться
майже 40 монографіями за всіма напрямками
фундаментальних досліджень, що є
підсумками грантів, які отримали учені
України.*

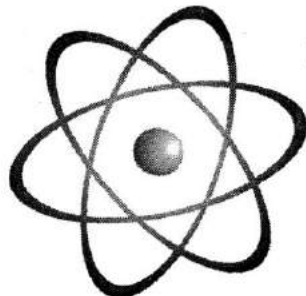
*Окрім того, для популяризації наукових
досягнень коштами Фонду підтримано
передплату на 2001 рік наукових та
освітнянських, періодичних журнальних
видань, серед них і журнал „Світ фізики”,
та їх безоплатне надання бібліотекам
дослідницьких інституцій, вищих
навчальних закладів.*

*Будемо вдячні Вам за думки з приводу
можливих наступних акцій стосовно
забезпечення науковою інформацією
учнів, студентів, викладачів.*

З найкращими побажаннями

**Державний фонд
фундаментальних досліджень**

*Не забудьте передплатити журнал
„Світ фізики” на наступний рік*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища фізики

Біланюк Олекса. Вогонь чи лід: яким буде кінець світу? 3

Вакарчук Іван. Квант – геніальна здогадка чи „вимушений” крок? 9

Гальчинський Олександр. Відкриття τ -нейтрино 16

2. Про фізиків України

Ярослав Яцків (60 років від дня народження)

Почесні Доктори Львівського національного університету імені Івана Франка 18

3. Фізики світу

Вакарчук Іван, Шопа Галина. Макс Карл Ернст Людвіг Планк 27

4. Університети світу

Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова 30

5. Нобелівські лауреати

Пляцко Роман. Гравітаційне випромінювання... 34

6. Олімпіади, турніри ...

Задачі першого етапу III відкритого Всеукраїнського турніру юних винахідників і раціоналізаторів, 2000 р. 37

7. Шпаргалка абітурієнта

Механічна робота та механічна енергія 39

8. Інформація

Новини зі світу 44

9. Гумор

Вежа і барометр 46

10. Реальність і фантастика

„Розумний” робот 47





Вогонь чи лід: Яким буде кінець світу?

Олекса Біланюк

професор, США

Some say the world will end in fire,

Some say in ice ... [1]

Robert Frost, 1916

Вступ

Одне з найважливіших питань сучасної космології стосується густини ρ [2] речовини у Всесвіті. Якщо її значення більше від т. зв. критичної густини ($\rho > \rho_{кр}$), тоді сила всесвітнього тяжіння (гравітації) сповільнить розширення (експансію), яке від його початку у „первинному вибуху” („Big Bang”) зазнає наш Всесвіт [3]. Не лише сповільнить, але згодом оберне його в стадію стискання, і наш Всесвіт закінчиться у надзвичайно високотемпературному „вогненному обвалі” („Big Crunch”). Зауважмо, що хоча в стадії розширення густина ρ меншає, вона увесь час залишається більшою від $\rho_{кр}$. У стадії стискання ρ зростатиме і при кінцевому обвалі прямуватиме до безмежності, $\rho_{кр} \rightarrow \infty$.

Коли ж густина менша від критичної ($\rho < \rho_{кр}$), кінетична енергія первинного вибуху переважає потенціальну енергію тяжіння і Всесвіт розширюватиметься безмежно [4]. У цьому випадку розширення доведе до фактичної порожнечі ($\rho \rightarrow 0$) і кінець Всесвіту буде „холодним” при нулю Кельвіна.

У космології прийнято користуватись співвідношенням $\rho/\rho_{кр}$ і позначати його великою грецькою літерою Ω . Якщо дослідження встановлять, що $\Omega > 1$, то ми знатимемо, що кінець буде „вогняний”. Коли ж з’ясується, що $\Omega < 1$, кінець Всесвіту буде „холодний”.

Останніми роками астрономи й астрофізики докладають великих зусиль, щоб визначити густину Всесвіту і дізнатися, якою буде його майбутня доля. Для пересічних громадян таке запитання може здатися позбавленим будь-якої користі, тому що наслідки відповіді будуть відчутні лиш через десятки мільярдів років. Все ж таки для багатьох

учених, в яких нуртує пристрасть до пізнання, запитання про початок і кінець Всесвіту надзвичайно захопливе. На щастя, ученим не так важко отримати значні кошти на свої складні дослідження, принаймні у багатих, прогресивних країнах. Ці кошти їм виділяють не тому, що політики і платники податків зацікавлені у тому, що станеться за 50 мільярдів років, а тому, що для дослідження цього та інших „непрактичних” питань ученим неодмінно доводиться придумувати і розвивати нові складні технології. При цьому вони часто роблять неочікувані відкриття. Багато з цих технологій та знахідок згодом використовуються у щоденному житті. Назвімо хоча б транзистор і лазер. (У таких країнах кажуть: „Ми даємо гроші на науку не тому, що ми багаті, а ми багаті тому, бо даємо гроші на науку.”)

Дослідження густини Всесвіту вже дали численні попередні результати, та поки що вони не достатньо точні. Остаточну відповідь все ж таки можна очікувати вже в наступному десятиріччі, коли будуть проаналізовані дані з двох космічних зондів, що їх готують до запуску. Перший зонд „MAP” (Microwave Anisotropy Probe) готують в Америці до запуску в квітні 2001 року. Другий, ще складніший, готують в Європі до запуску 2007 року (Проект „PLANCK”).

Геометрія Всесвіту

З густиною ρ і співвідношенням Ω тісно пов’язана геометрія Всесвіту. Із загальної теорії відносності Айнштейна знаємо, що $\Omega > 1$ зумовлює для Всесвіту сферичну Ріманову геометрію (Georg F. B. Riemann, 1826–1866). Такий Всесвіт називаємо „закритим”, а його кривину [5] позитивною.



У ньому кількість маси обмежена і обмежений його об'єм, хоча межі він не має. В якому напрямі ми б не рухались вперед по прямій лінії, знов дійдемо до точки, з якої вийшли.

Коли $\Omega < 1$, то геометрія Всесвіту гіперболічна (геометрія М. І. Лобачевського, 1792–1856). Такий Всесвіт справді безмежний.

Існує ще третя можливість, коли густина Всесвіту має значення критичної, коли $\Omega = 1$. Геометрія такого Всесвіту евклідова – така, яку ми знаємо з середньої школи. У ній паралельні лінії не збігаються (як у сферичній), ані не розбігаються (як у гіперболічній), а віддалі між собою зберігають незмінною. Такий Всесвіт Ω називають „плоским”, а його кривину – нульовою.

Зауважмо, що у кожному з трьох можливих видів Всесвіту усі точки геометрично рівнозначні. У жодному немає якогось центру, або межі. З якої б точки не спостерігати, його вигляд був би однаковим. (Звичайно, йдеться про спостереження геометрії на космологічних відстанях, а не про локальні особливості розміщення окремих галактик, квазарів, туманностей, скупчень галактик тощо.)

Космічні горизонти

У космології важливим є поняття „причинного горизонту”. Якщо Всесвіт достатньо великий, тоді у ньому існують далекі області, з яких за час існування Всесвіту до нас ще не встигло долетіти їхнє світло. Наші спостереження обмежені таким „причинним горизонтом”.

Коли Всесвіт закритий, але його розмір такий, що за час його існування світло з нашої галактики могло повністю облетіти його (а то й облетіти декілька разів) – тоді нічого не лежало б поза горизонтом. Що більше, тоді існувала б можливість спостерегти, якою була наша галактика мільярди років тому, коли з неї вилетіло світло, що облетіло Всесвіт. А якщо розмір Всесвіту такий, що це світло могло облетіти його більше, ніж раз, ми могли б спостерігати нашу галактику в різні епохи минулого Всесвіту.

Друге обмеження досяжності наших спостережень зумовлене розширенням Всесвіту. Згідно із законом Габбла [6], що далші від нас галактики, то швидше вони від нас віддаляються. Через ефект Доплера світло з них зазнає збільшення довжини хвилі, фотони стають менш енергетичними. На деякій відстані швидкість віддалення цієї га-

лактики дорівнюватиме швидкості світла. У цьому граничному випадку енергія фотонів стає нульовою, і такі галактики стають для нас невидимими.

Густина Всесвіту

Щоб визначити геометрію, а за тим і долю нашого Всесвіту, треба виміряти густину ρ та визначити її критичне значення $\rho_{кр}$. Не важко довести [7], що існує тісний зв'язок між $\rho_{кр}$ та константою Габбла H_0 [6]:

$$\rho_{cr} = 3H_0^2 / 8\pi G ,$$

де $H_0 = 74 \pm 7$ км/с/Мпс (1 Мегaparсек = $30,9 \cdot 10^{12}$ км), $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н · м²/кг², (G – гравітаційна стала). Так ми отримуємо:

$$\rho_{cr} = 9 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3 ,$$

що рівнозначне приблизно 5 атомам водню в кубічному метрі. (Для порівняння згадаймо, що у найкращому вакуумі, якого можна досягнути в лабораторних умовах, $\rho_{вак} = 10^8$ атомів на метр кубічний).

Отже, завдяки експериментально визначеній константі Габбла, ми знаємо значення $\rho_{кр}$. Щоб дізнатись про долю Всесвіту, потрібно виміряти і дійсну густину Всесвіту ρ . Значення ρ , що отримується із астрономічних спостережень світної матерії, на декілька порядків менше від $\rho_{кр}$. Це означало б, що $\Omega \ll 1$ і що кінець Всесвіту буде „холодний”.

Та вже в 1930-х роках з'ясувалось, що світної матерії аж ніяк не вистачає, щоб пояснити відносний рух зір (у галактиках), галактик та галактичних скупчень. Довелось припустити, що поряд із видимою матерією мусить існувати ще й невидима речовина, яку прийнято називати „прихованою (або темною) масою”.

Прихована маса

З уваги на те що у „Світі фізики” [8] була опублікована вичерпна стаття про приховану масу, це питання тут з'ясовується лиш побіжно.

Перші спроби визначити природу прихованої матерії зосереджувались на об'єктах, складених з ормальної „баріонної” [9] речовини. Це „мертві” зорі, білі, коричневі та чорні карлики, нейтронні зорі, чорні діри та інші форми не світних або



слабої світності астрономічних об'єктів. Та спостереження космічного девтерію і розрахунки синтезу ядер у первинному вибуху вказують на те, що баріонної матерії не вистачить, щоб задовольнити вимоги спостережуваної космічної динаміки.

Кандидатами на не баріонну темну матерію є невтрино (нові дослідження вказують на те, що вони мають маленьку масу спокою, близько $5eV$), та гіпотетичні s -частинки, що їх передбачає нова суперсиметрична теорія [10]. Найновішими претендентами у приховану масу є гіпотетичні „пухнаті частинки” („fuzzy ultralight particles”) [11] з неймовірно малою масою порядку $m \sim 10^{-22} eV$, що їхня відносна квантова довжина хвилі сягає 3000 світлових років. Існування таких частинок розв'язало б труднощі, з якими зустрічаються космологи, коли пробують з'ясувати, чому приховані не-баріонні „холодні” (т. зн. повільні) частинки не створили густих центрів притягання, які передусім були б зародками галактик-карликів, яких повинно було б бути набагато більше, ніж спостерігається.

Не менш фантастичною, хоча науково добре обґрунтованою, є гіпотеза про т. зв. топологічні дефекти, які могли б служити за темну масу. Аналогічно до фазових переходів, що їх спостерігаємо у природі (наприклад, коли замерзає вода в ставку), на ранніх стадіях Всесвіту відбувалися „фазові переходи”, пов'язані з порушенням симетрії взаємодій. Коли в ставку вода замерзає, перехід не відбувається миттєво всюди, а по доменах, аж поки замерзаючі домени не зіткнуться. Там, де стикаються межі двох доменів виникає дефект. Теорія передбачає, що подібні космічні дефекти можливо зараз є у Всесвіті. Із розрахунків випливає, що такі космічні дефекти повинні б мати конфігурацію неймовірно тонких волокон, але одночасно дуже масивних, та ще й надпровідних [12].

Космічна константа

Попередні спостереження останніх років вказують на можливість, що Всесвіт не лиш розширюється, а що це розширення з часом прискорюється [13]. Це означало б, що поряд із гравітаційним притяганням діє ще енергія, яка „роздуває” простір. Цю енергію називають „темною енергією” (dark energy), і вона пов'язана із космологічною константою, що її увів у свої рівняння

Альберт Айнштейн (згодом він її відкріс ...). Хоча її дія полягає у розширенні простору, вона одночасно діє масою, яку має кожна енергія, $m = E/c^2$. Ця темна енергія може бути ще одним складником густини Всесвіту. За деякими розрахунками, вона становить 65% від усієї густини Всесвіту.

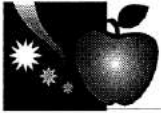
Космічний мікрохвильовий фон

Найфантастичні вигадки авторів наукової фантастики бліднуть порівняно з серйозними і стисло обґрунтованими гіпотезами астрофізики. Пухнаті частинки, тонесенькі, але неймовірно масивні топологічні дефекти, темна енергія – усе це не легковажні здогади, а висновки вдумливих пошуків, що ґрунтуються на фізичних теоріях.

Конкретний підхід до отримання сучасної дійсної густини Всесвіту не менш казковий. Йдеться про виявлення маленьких відхилень (1 частина у 100000) спектру космічного мікрохвильового фону від Планківського теоретичного спектру чорного тіла.

Космічний мікрохвильовий фон – це реліктові кванти електромагнетного випромінювання первинного вибуху. Можна запитати: який стосунок має цей фон до сучасної густини Всесвіту? Має і то дуже прямий й широкий. Вимірювання згаданих вище відхилень дасть змогу дізнатися про стан плазми протонів, електронів та співіснуючої з ними прихованої маси, у момент, коли 300000 років після первинного вибуху, плазма охолодилася до 3000 К. До цього моменту плазма була непрозорою для фотонів. У ній поширювались хвилі, аналогічні до акустичних. Вони народжувались під впливом взаємної протидії гравітації та фотонного тиску. Довжина й амплітуда цих хвиль зумовлювались властивостями плазми і прихованої речовини.

При температурі 3000 К протони й електрони почали об'єднуватись, утворюючи нейтральний водень. У момент, коли плазма перетворилася у водень, вона стала прозорою для фотонів. Реліктовий електромагнетний фон – це фотони, що визволилися (decoupling) від протонів та електронів і почали вільно проходити крізь простір, заповнений вже воднем, а не протонно-електронною плазмою. За час від моменту такого відриву до сьогодні, цей фон охолонув з 3000 до 2,73 К.



Докладніші дослідження цього фону, при високій просторовій роздільній здатності, дадуть змогу дізнатися про склад, густину і властивості речовини в момент відриву. На підставі цих даних можна розрахувати сучасну середню густину Всесвіту, а, отже, його геометрію і долю.

Дотеперішні вимірювання реліктового фону з наземних обсерваторій і балонних та ракетних зондів вже приносять попередні результати. Невдачно опубліковані результати балонних експериментів Boomerang і MAXIMA-1 [14] вказують на евклідову геометрію нашого Всесвіту. Але тільки від прецизійних вимірювань космічними зондами „MAP” (2001) [15] і „PLANCK” (2007) [16], та від вимірювань поляризації реліктового фону [17], можна очікувати остаточну відповідь на запитання: „Вогонь чи лід?”

Примітки і посилання

[1] Robert Lee Frost, американський поет (1874–1963). Вірш „Fire and Ice” він написав 1916 року. Хоча цей вірш – метафора на людські пристрасті, його перші два рядки буквально описують одну із головних загадок сучасної космології.

Some say the world will end in **fire**,
Some say in **ice**.
From what I've tasted of desire
I hold with those who favor **fire**.

But if it had to perish twice,
I think I know enough of hate

To know that for destruction **ice**
Is also great
And would suffice

Твердять одні, що світ в огні пропаде,
Інші – що в льоді.

Спізнавши пристрасті принаду
У вогню зачислююсь громаду.

Коли б же світ мав пропадати двічі,
Й ненависті глядів я в вічі.

І так збагнув, що на загладу
Лід теж до ладу –
Й перечить годі.

Переклав О. Біланюк

[2] Густина (або щільність) – це міра кількості маси на одиницю об'єму. Густину позначають грецькою буквою ρ („ро”). У стандартних одиницях її вимірюють у кілограмах на кубічний метр, $\text{кг}/\text{м}^3$.

[3] Ця стаття написана в рамках широко прийнятої космологічної теорії „Великого вибуху” („Big Bang”). До встановлення цієї теорії, поруч з А. Айнштайном, В. де Сітгером, А. Фрідманом та Е. Габблом, великий внесок зробив Жорж Леметр (Georges E. Lemaître, 1894–1966), професор, у якого вчився автор цієї статті, та наш земляк одесит Георгій Антонович Гамов (1904–1968, дивись „Світ фізики”. 1998. № 1. С. 18–19).

[4] Тут можна навести аналогію „другої космічної швидкості”, коли при запуску ракета отримує достатньо кінетичної енергії, щоб визволитися від притягання Землі.

[5] Кривина – у диференціальній геометрії – це величина, що описує ступінь відхилення кривої лінії від прямої, або поверхні від площини. Випуклі поверхні мають позитивну пересічну кривину, а увігнуті – негативну. Площина має нульову кривину. Не-Евклідову сферичну геометрію Рімана вигідно моделювати в Евклідовому просторі кулею. Оскільки у кулі кривина позитивна, то називаємо кривину замкненого Ріманового простору – позитивною. Не-Евклідову геометрію Лобачевського, де простір відкритий (безконечний), зручно моделювати поверхнею гіперболоїда (форма сідла). Гіперболоїд має негативну кривину, тому кажемо, що кривина відкритого простору – негативна. Згадаймо, що сфера краще моделює простір Рімана, ніж гіперболоїд – простір Лобачевського. Це тому, що в не-Евклідових сферичній і гіперболічній геометріях усі точки простору рівнозначні. Модель кулі передає цю рису точніше, тоді, коли на гіперболоїді є одна точка, „центр” сідла, що вирізняється.

[6] Закон Габбла,

$$V_r = H_0 r,$$

є основним експериментальним підтвердженням Великого вибуху [3] („Big Bang”). У цьому рівнянні V_r – швидкість, з якою далека галактика віддаляється від нас, а H_0 – коефіцієнт пропорційності, теж відомий як стала Габбла.



Цей закон експериментально довів американський астроном Едвін Габбл (Edwin Powell Hubble, 1889–1953). Згідно з цим законом, що галактика далі від нас, то вона швидше від нас віддаляється. (Подібно, коли вибухне граната, осколки, що летять найшвидше, опиняться найдалі). Ще не встановлено, чи коефіцієнт H справді незмінний, чи він змінюється з часом. На перший погляд, H мав би з часом меншати, бо тяжіння сповільнює розширення. Та знайдено експериментальні натяки на те, що існує т. зв. „темна енергія” (відома, як „космологічна константа Айнштайна”), яка прискорює розширення. Якщо так, то H з часом зростає. Сучасне значення H становить $H_0 = 74 \pm 7$ км/с/Мегапарсек.

[7] У контексті закону Габбла [6] припустимо, що для пробної маси m потенціальна енергія –

$$\Pi_r = -GmM/r,$$

де G – гравітаційна стала, M – маса, що міститься у сфері радіуса r . (Центр цієї сфери є початком нашої системи відліку). Коли $r \rightarrow \infty$, тоді $\Pi_r \rightarrow 0$.

Кінетичну енергію маси m запишімо як:

$$K_r = mv_r^2 / 2,$$

де v_r , за законом Габбла, є:

$$v_r = H_0 r.$$

Якщо v_r дорівнює „другій космічній швидкості” [4], то при $r \rightarrow \infty$ матимемо $v_r \rightarrow 0$ і $K_r \rightarrow 0$.

Тепер запитаймо, якою б мала бути маса M , щоб v_r дорівнювала v_{cr} (другій космічній швидкості). Закон збереження енергії дає:

$$K_r + \Pi_r = K_\infty + \Pi_\infty = 0, \text{ або}$$

$$mv_{cr}^2 / 2 + (-GmM/r) = K_\infty + \Pi_\infty = 0 + 0 = 0$$

З цього рівняння отримаймо шукану масу M ,

$$M = rv_{cr}^2 / 2G.$$

Цікавішою для нас є густина маси у Всесвіті,

$$\rho_{cr} = M / (4/3)\pi r^3 = v_{cr}^2 / (8/3)\pi r^2.$$

І насамкінець ми отримуємо відношення між r_{cr} і H_0 ,

$$\rho_{cr} = \frac{3H_0^2}{8\pi G}.$$

[8] Новосядлий Б. Прихована маса у Всесвіті та компактні масивні об’єкти Галактики //Світ фізики. 1998. № 2(4). С. 3–6.

[9] Баріони (*baryons*) – головні складники звичайної матерії, насамперед – це нуклони (протони і нейтрони), з яких складене усе живе і мертво – люди, речі, планети, зорі тощо.

[10] Біланюк О. На обріях фізики// Світ фізики. 1999. № 1(5). С. 3–7.

[11] Hu W., Barkana R. and Gruzinov A. Fuzzy Cold Dark Matter: The Wave Properties of Ultralight Particles// Physical Review Letters. 7 August 2000. 85/6, P. 1158–1161, .

[12] Zurek W.H. The shards of broken symmetry// Nature. 1996. 382. P. 296–298.

[13] Perlmutter S. et al. Measurements of W and L from 42 high-redshift supernovae (The Supernova Cosmology Project) //Astrophysical Journal. 1 June 1999. 517. P. 565–586.

[14] De Bernardis P. et al. A flat Universe from high-resolution maps of the cosmic background radiation//Nature. 2000. 404. P. 955–959.

//<http://www.ibl.gov/Science-Articles/Archive/maxima-results.html>;

//<http://www.ibl.gov/Science-Articles/Archive/bomerang-flat.html>;

[15] Microwave Anisotropy probe (MAP) //Home Page, <http://map.gsfc.nasa.gov/>

[16] The PLANCK Mission, European Space Agency //<http://astro.estec.esa.nl/SA-general/Projects/Planck/>.

[17] Calgwell A. C. and kamionkowski M. Echoes from the Big Bang //Scientific Amerikan. Januar 2001. 284. P. 38–43. (У цьому ж числі журналу в розділі „Brave NEW Cosmos: A Spesial Report”. P. 37–59 читач знайде низку статей про сучасний стан космології).

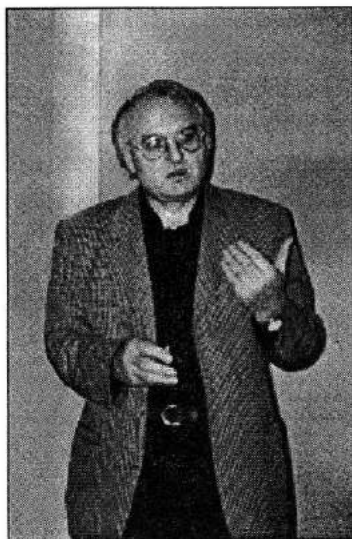
Оцю статтю автор присвячує 10-му ювілеєві Української Астрономічної Асоціації



До 100-РІЧЧЯ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ

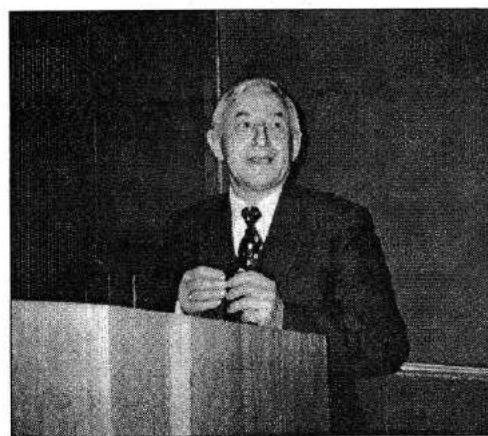
14 грудня 2000 року світова наукова громадськість відзначила 100-річчя від дня народження квантової фізики

Розвиток фізики у ХХ сторіччі пов'язаний із становленням квантової механіки. Закони квантової механіки пояснили будову атомів, природу хімічного зв'язку, періодичну систему елементів та фізичні явища в металах, напівпровідниках, діелектриках. Лише квантова механіка змогла пояснити такі фізичні явища, як феромагнетизм, надплинність та надпровідність. Вона є основою вивчення на молекулярному рівні явищ живої природи. Астрофізика сьогодні теж не може обійтись без квантовомеханічного опису фізичних процесів, які відбуваються у Всесвіті. Сьогодні квантова механіка визначає наш науковий світогляд і наше розуміння Природи.



Професор І. Вакарчук виступає з доповіддю „Квант – геніальна здогадка чи „вимушений” крок”

100-річчя квантової фізики відзначили і вчені України. 14 листопада 2000 року у м. Києві відбулася наукова сесія Відділення фізики і астрономії Національної академії наук України, де з доповіддю „Сто років сталій Планка” виступив доктор фізико-математичних наук, професор Іван Вакарчук. З цією ж доповіддю він виступив і в Київському національному університеті імені Т. Шевченка.



Професор Я. Довгий презентує книгу „Чарівне явище надпровідність”



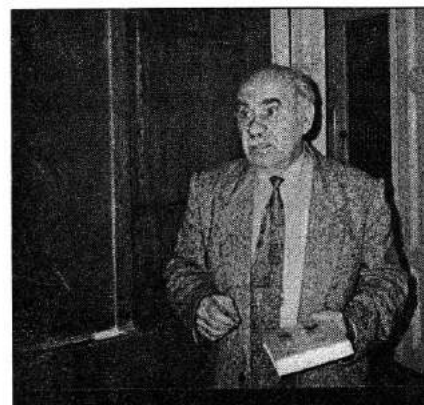
Професор Я. Довгий дарує свою книгу член-кор. НАН України проф. І. Стасюку

100-річчю квантової фізики присвячено також презентацію книги професора Ярослава Довгого „Чарівне явище надпровідність”.

Ця монографія про надпровідність та супутні фізичні явища й адресована молодим науковцям. Нею видавництво „Свросвіт” започаткувало серію „Бібліотека молодого науковця”.

У виступах та обговореннях багато відомих учених відзначали вплив цього наукового відкриття на прогрес фізичної науки та людства загалом.

Професор Р. Луців ділиться враженнями про книгу Я. Довгого „Чарівне явище надпровідність”



14 грудня 2000 року, рівно через сто років після історичного семінару Німецького фізичного товариства, де виступив професор теоретичної фізики Берлінського університету Макс Планк, у Львівському національному університеті імені Івана Франка відбувся спільний науковий семінар фізичного факультету, Семінару „Філософія науки” та Фізичної комісії Наукового товариства імені Т. Шевченка. На семінарі у доповіді Івана Вакарчука „Квант – геніальна здогадка чи „вимушений” крок” було хронологічно відтворено та проаналізовано міркування М. Планка, щодо пояснення теплого випромінювання абсолютно чорного тіла, які привели його до відкриття кванта.



Квант – геніальна здогадка чи „вимушений” крок?*

Іван Вакарчук

професор Львівського національного університету
імені Івана Франка



Макс Карл Ернст Людвіг Планк

I.

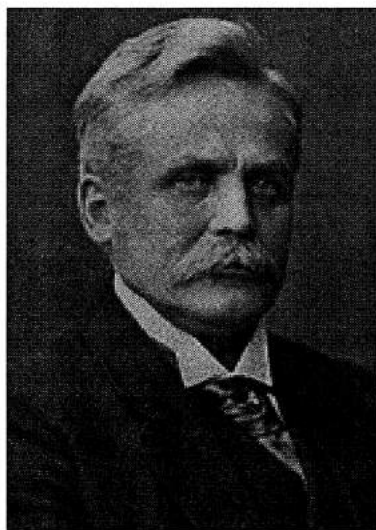
14 грудня 1900 року є днем народження квантової фізики.

Саме в цей день на засіданні Німецького фізичного товариства професор теоретичної фізики Берлінського університету Макс Планк (1858–1947) представив результати своєї праці з дове-

дення на основі мікроскопічного підходу формули для спектральної густини енергії випромінювання абсолютно чорного тіла і ввів фундаментальну фізичну константу – елементарний квант дії h .

Відкриття Планком елементарного кванта дії – це одне з найбільших відкриттів, які людина зробила за свою історію. Його глибокий вплив на творення людиною іншого – квантового світосприйняття порівняльний з відкриттям Коперника. Після Ньютона, теорія якого усталила наш світогляд, ми були горді, що один з нас досягнув меж людського розуму, і це стало предметом нашого постійного захоплення. З відкриттям квантової механіки людина зрозуміла, що вона знову не в центрі Всесвіту. Ми відчули межу наших можливостей логічно збагнути те, що відбувається в мікросвіті. Досі кожний з нас має дискомфорт, що не може зрозуміти тієї логіки, яка є на атомному мікроскопічному рівні, тобто квантової логіки. Якщо у класичній логіці ще від Арістотеля було лише „так” чи „ні”, то квантова вводить таке поняття як імовірність, що більше, не саму імовірність, а амплітуду імовірності, що є принципово важливим. Якщо би була просто імовірність, то ми могли б собі дати раду з цим, наша уява би спрацювала. Наука відрізняється від інших видів діяльності людини тим, що вона дає стовідсоткові передбачення. Не зважаючи на те, що ми не можемо збагнути все, що є в мікросвіті, ми не хочемо змиритись і сьогодні з тим, що наша класична уява неспроможна досягнути те, що твориться на атомному рівні, але ми вміємо розраховувати, обчислювати і передбачати, а отже, здатні й далі творити науку.

*Лекція прочитана 14 грудня 2000 року з нагоди 100-річчя відкриття сталої Планка на спільному науковому семінарі фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка, Семінару „Філософія науки” та Фізичної комісії Наукового товариства імені Т. Шевченка. Вона була також виголошена 14 листопада 2000 року на Науковій сесії Відділенні фізики і астрономії НАН України та 15 листопада 2000 року на Науковому семінарі фізичного факультету Київського національного університету ім. Т. Г. Шевченка.



Вільгельм Він

II.

За декілька років перед своїм відкриттям М. Планк зацікавився проблемою випромінювання абсолютно чорного тіла. Починаючи з лютого 1897 року, він часто виступав на засіданнях Німецького фізичного товариства з доповідями про необоротні процеси випромінювання: 4 лютого 1897 р., 8 липня 1897 р., 16 грудня 1897 р., 7 липня 1898 р., 18 травня 1899 р. За цими доповідями опублікована його праця „Про необоротні процеси випромінювання” (Ann. Phys. 1900. 1. P. 69–122.).

У чому саме полягала проблема? Завдання формулюється просто: потрібно було знайти розподіл за частотами ν енергії рівноважного електромагнетного випромінювання тіла, нагрітого до температури T . Моделлю такої рівноважної системи є замкнена порожнина, стінки якої мають сталу температуру T , цю ж температуру має і випромінювання, що є в середині. Для того, щоб спостерігати це випромінювання, потрібно зробити невеличкий отвір у стінці порожнини, через який воно буде виходити. Зовнішнє випромінювання, що падає на отвір, не відбивається, а проходить в середину і залишається там, тобто стовідсотково поглинається. А оскільки абсолютно поглинаючу поверхню називаємо чорною, то і випромінювання, що виходить через цей отвір, називають „чорним” або випромінюванням абсолютно чорного тіла.

У вирішенні цієї проблеми було зроблено декілька важливих кроків. Густав Кірхгоф (1824–1887) вивів закони, названі його іменем. Він показав, що енергія E рівноважного випромінювання абсолютно чорного тіла є універсальною функцією температури T . Йозеф Стефан (1835–1893) емпірично, а Людвіг Больцман теоретично довели, що густина енергії, тобто E/V (V – об’єм нашої системи) пропорційна четвертій степені температури.

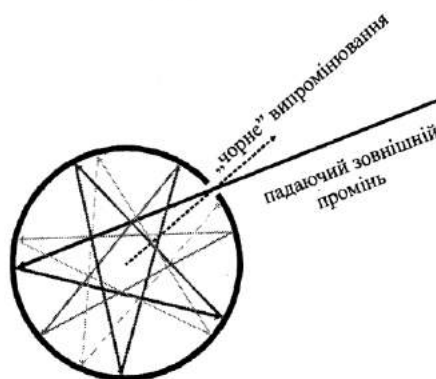
Зібрану з усіх частот повну густина енергії можна записати так:

$$\frac{E}{V} = \int_0^{\infty} u_{\nu}(T) d\nu, \quad (1)$$

де величину $u_{\nu}(T)$ називають спектральною густиною енергії. Саме її і потрібно було знайти.

Вільгельм Він (1864–1928) за допомогою оригінального уявного досліду з дослідження зміни спектра випромінювання, що відбивається від рухомого дзеркала, показав (1893), що спектральна густина енергії поділена на ν^3 є функцією відношення ν/T . Цей, так званий, закон зміщення Віна є точним. Назва пішла від того, що максимум $u_{\nu}(T)$ маємо в деякій точці $\nu/T = \text{const}$, із збільшенням температури він зміщується на частотній шкалі до більших значень ν . Пізніше 1896 р. на основі молекулярно-кінетичної теорії В. Він з „напівсерйозних” міркувань запропонував явний вигляд спектральної густини енергії теплового випромінювання¹:

$$u_{\nu}(T) = \text{const} \nu^3 e^{-a\nu/T}. \quad (2)$$



Абсолютно чорне тіло

¹ 1911 року за відкриття законів теплового випромінювання В. Віна нагороджено Нобелівською премією.



За словами лорда Джона Релея (1842–1919) „це було не доведення, а не більше, ніж здогадка”.

III.

М. Планк почав свої дослідження цієї проблеми з моделювання випромінювання абсолютно чорного тіла сукупністю гармонічних осциляторів (резонаторів), коли

$$u_\nu(T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} U, \quad (3)$$

де U – енергія окремо взятого осцилятора, і доведення формули Віна на основі введення поняття електромагнетної ентропії, яку він визначив так:

$$S = -\frac{U}{av} \ln \frac{U}{ebv}, \quad (4)$$

де a і b – дві універсальні сталі, e – основа натуральних логарифмів.

М. Планк узагалі любив, так би мовити, „ентропійну мову”. З цим поняттям пов’язані його перші кроки в науці. Він досліджував ентропію як термодинамічну функцію і у своїй докторській дисертації, ефект від якої, за словами Планка, дорівнював нулеві. Це пов’язано з тим, що поняття ентропії було новим і не дуже зрозумілим. Однак виявилось, що саме завдяки поняттю ентропії дорога до відкриття точної формули для спектральної густини енергії абсолютно чорного тіла була найпростішою.

М. Планк увів гіпотезу про електромагнетну ентропію, а саме: у зв’язку з тим, що поле випромінювання є накладанням коливань з різними нерегулярно змінними (випадковими) фазами, то можна говорити про певний безлад, а отже, про ентропію й температуру. З основного рівняння термодинаміки випливає, що при сталому об’ємі похідна

$$\frac{dS}{dU} = \frac{1}{T}, \quad (5)$$

і з формули (4) для ентропії та виразу (3) знаходимо закон В. Віна (2). Мабуть можна говорити, що М. Планк насправді спочатку відтворив вираз для ентропії (4) з формули В. Віна, а потім його обґрунтовував.

Планк вважав, що формула В. Віна є точною. Наведемо його слова: „Звідси, на мою думку, потрібно зробити висновок, що дане визначення ентропії випромінювання, а тим самим і закон розподілу енергії Віна, є неминучим наслідком зас-

тосування принципу росту ентропії до електромагнетної теорії випромінювання, і тому межі застосовності цього закону, якщо вони взагалі існують, збігаються з межами застосовності другого закону термодинаміки. Зрозуміло, що, завдяки усьому тут висловленому, широка експериментальна перевірка цього закону набуває принципового інтересу.”

Друга похідна від ентропії (4) за енергією має дуже простий вигляд:

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{1}{avU}. \quad (6)$$

М. Планк звернув на це увагу ще й тому, що обернена величина, взята зі знаком „мінус”, має прозорий фізичний зміст: вона дорівнює теплоємності помноженій на квадрат температури. Саме тому М. Планк працював із другою похідною від ентропії:

„Я використовую другу похідну від S за U , оскільки ця величина має просте фізичне тлумачення”.

На засіданні Німецького фізичного товариства 3 листопада 1899 р. Отто Люммер (1860–1925) і Ернст Прінгсгайм (1859–1917) представили результати вимірювань у ділянці більших довжин хвиль ($\nu \rightarrow 0$), які суперечили формулі В. Віна для густини енергії теплового випромінювання. Широка експериментальна перевірка цього закону набула принципового значення для розуміння природи теплового випромінювання.

У п’ятницю 19 жовтня 1900 р. на засіданні Німецького фізичного товариства Ф. Курльбаум повідомив про результати вимірювання енергії випромінювання на ділянці дуже великих довжин хвиль, які він виконав разом з Г. Рубенсом. Ці експериментальні результати заперечили справедливість формули Віна (2):

$$u_\nu(T) \sim T \text{ при } \nu \rightarrow 0. \quad (7)$$

Після повідомлення Ф. Курльбаума на цьому ж засіданні виступив М. Планк, який, використавши ці експериментальні результати, запропонував свою формулу для спектральної густини енергії теплового випромінювання абсолютно чорного тіла. З його спогадів: „Тому що мені цей результат став відомим завдяки усному повідом-



ленню авторів² вже за декілька днів до засідання, то в мене був час ще перед засіданням використати їхні висновки в моєму методі та обчислити ентропію”.

Отже, оскільки при $\nu \rightarrow 0$, як випливає з (7) та (3),

$$U = CT, \quad (8)$$

де C – стала величина, то з (5) маємо, що

$$\frac{d^2S}{dU^2} = -\frac{C}{U^2}. \quad (9)$$

М. Планк вирішив об'єднати однією простою інтерполяційною формулою два граничних випадки для високих (6) і для низьких частот (9) в одну формулу:

$$\left(\frac{d^2S}{dU^2}\right)^{-1} = -a\nu U - \frac{U^2}{C}. \quad (10)$$

Це, як кажуть, перше, що приходить до голови. Воістину все геніальне – просте. Справді, звідси для $\nu \rightarrow 0$ маємо залежність (9), а для великих частот другий доданок стає несуттєвим, і ми повертаємось до формули (6), яку дає закон В. Віна.

Елементарне інтегрування в (10) з урахуванням виразу (5) і (3) дає знамениту формулу Планка для спектральної густини енергії:

$$u_\nu(T) = \frac{8\pi b \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{a\nu/T} - 1}, \quad (11)$$

тут стала $b = Ca$. Наведемо слова М. Планка з доповіді 19 жовтня 1900 року: „Ця формула, наскільки я знаю, відповідає експериментальним даним, які опубліковані дотепер... Тому я вважаю за можливе звернути Вашу увагу на наведену нову формулу, котра, як на мене, є найпростішою (окрім формули Віна), з погляду електромагнетної теорії випромінювання.”

Як бачимо, фактично ця формула дійсно вгадана. Це була інтерполяційна формула, одна з багатьох існуючих на той час і одна з найпростіших, що добре описувала експериментальну залежність спектральної густини енергії випромінювання.

²Генрих Рубенс (1865–1922) був близьким товаришем Макса Планка, який дуже високо цінував свою співпрацю з ним: “Без участі Рубенса формулювання закону випромінювання, а тим самим і обґрунтування квантової теорії, можливо, пішло би зовсім іншим шляхом, і навіть не в Німеччині.”

нювання абсолютно чорного тіла від частоти, яку М. Планк навів у своїй доповіді Німецькому фізичному товариству. Макс Планк настільки повірив у свою формулу, що вирішив довести її з мікроскопічних міркувань.

IV.

Працюючи впродовж майже двох місяців М. Планк зазначав: „Увесь процес був суцільним відчаєм, тому що теоретичні інтерпретації мали бути знайдені будь-яким коштом, хоч би як важко це не було”.

М. Планк знову пішов „ентропійною дорогою” і вирішив винайти з мікроскопічних міркувань вираз для ентропії, що відповідає його інтерполяційній формулі (10),

$$S = \frac{b}{a} \left[\left(1 + \frac{U}{b\nu}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{b\nu}\right) - \frac{U}{b\nu} \ln \frac{U}{b\nu} \right], \quad (12)$$

яка для $\nu \rightarrow \infty$ переходить у вираз (4). Для цього він використав ідею Больцмана про пропорційність ентропії логарифмові від кількості W можливих мікроскопічних станів термодинамічної системи:

$$S = k_B \ln W, \quad (13)$$

де k_B – стала Больцмана, яку фактично і ввів М. Планк цим співвідношенням.

Мабуть, ця ідея Больцмана та наближена формула для ентропії (4), яку можна записати ще й так:

$$S = -\frac{b}{a} \ln \left(\frac{U}{eb\nu} \right)^{U/b\nu} \quad (14)$$

і яка є сильно подібною до формули Стірлінга для логарифма від факторіала деякого великого числа N ,

$$\ln N! = \ln \left(\frac{N}{e} \right)^N, \quad N \gg 1 \quad (15)$$

і навели М. Планка на думку „сконструювати з факторіалів” величину W так, щоб отримати точний вираз для ентропії (12), що врешті-решт вже вимушено привело його до ідеї дискретності енергії електромагнетного випромінювання. Це й було темою доповіді, яку виголосив М. Планк у п'ятницю 14 грудня 1900 року на засіданні Німецького фізичного товариства.



Отже, моделюємо електромагнетне поле сукупністю N резонаторів. Нехай U – це середнє за часом значення енергії одного резонатора, або, що веде до того ж самого, середнє значення енергій (в один і той самий час) великої кількості N однакових резонаторів. Повна енергія

$$U_N = NU, \quad (16)$$

повна ентропія

$$S_N = NS. \quad (17)$$

Далі, за М. Планком: „ U_N потрібно уявляти собі не у вигляді неперервної величини, а у вигляді дискретної, що складається з цілого числа рівних частин

$$U_N = p\varepsilon, \quad (18)$$

p – ціле, взагалі кажучи, велике число; ε потрібно визначити.”



Один з можливих розподілів p -кульок в N ящиках

Тепер величина W – це кількість способів розподілення p елементів по N резонаторах. Як модель можна розглянути p кульок у N ящиках і підрахувати кількість різних способів їхнього розподілу, тобто кількість різних перестановок між собою p кульок і $(N-1)$ -ї стінки. Усіх перестановок є $[(N-1) + p]!$. Однак $p!$ перестановок p кульок в ящику, як і $(N-1)!$ перестановок стінок між ящиками нічого нового не дають, тому кількість різних перестановок

$$W = \frac{[(N-1) + p]!}{(N-1)! p!}. \quad (19)$$

Використовуючи формулу Стірлінга для факторіалів у цьому виразі, коли $N \rightarrow \infty$, $p \rightarrow \infty$, легко знаходимо з (13) та (19) ентропію

$$S = k_B \left[\left(1 + \frac{U}{\varepsilon} \right) \ln \left(1 + \frac{U}{\varepsilon} \right) - \frac{U}{\varepsilon} \ln \frac{U}{\varepsilon} \right], \quad (20)$$

зіставлення якої з виразом для ентропії (12), знайденої шляхом інтегрування із „вгаданої” формули (10), дає

$$\frac{U}{\varepsilon} = \frac{U}{b\nu}, \quad (21)$$

$$k_B = \frac{b}{a} \quad (22)$$

і, отже, з перепозначенням $b = h$, елемент (квант) енергії електромагнетного випромінювання

$$\varepsilon = h\nu \quad (23)$$

– знаменита формула Планка, яку так само як і айнштайнівську $E = mc^2$ знає „будь-хто”³.

V.

Як видно, шлях М. Планка до свого відкриття складається і з геніальних здогадок і з вимушених кроків. Щасливий вибір ентропійного підходу до вирішення проблеми абсолютно чорного тіла, далі використання саме другої похідної від ентропії, яка виявилась дуже простою на вигляд, щаслива здогадка її інтерполяції з використанням формули Віна та експериментальних вимірів при низьких частотах, сміливість у використанні формули Больцмана для ентропії з геніальною здогадкою „факторіального” моделювання кількості станів, і вже справді вимушені кроки до дискретності енергії електромагнетного випромінювання – такий шлях Макса Планка до свого фундаментального відкриття елементарного кванта дії.

Для М. Планка це були вимушені кроки. Він не раз намагався „вигнати” цю дискретність із своєї формули. Дуже багато праці вклав учений, особливо до 1912 року. Він хотів ввести якоесь цей квант у рамки класичної теорії, але ця константа h виявляла свою впертість. І справді, йому коштувало величезних зусиль, щоби якоесь зробити світ неперервним. Але нічого з цього не вийшло. Вже і після того, як було відкрито рівняння Шредингера, М. Планк намагався звести його до класичного вигляду:

„Я намагався негайно „прилаштувати” елементарний квант дії у рамки класичної теорії. Але попри усі зусилля ця константа виявляла свою впертість. Мої марні зусилля „вкласти” цей елементарний квант дії у класичну теорію тривали упродовж багатьох років і коштували мені величезних зусиль”.

Цікаво, що, як бачимо з (22), фундаментальна константа $a = h/k_B$ була присутня вже в наближеній формулі В. Віна (2). Якщо константа Больцмана k_B є лише масштабним множником між енер-

³За відкриття кванта дії h М. Планка нагороджено Нобелівською премією 1918 року.



гетичними одиницями і градусами, то константа h зв'язує енергію частинок з частотою відповідних коливних процесів, тобто дає нерозривний зв'язок у явищах мікросвіту між хвилями і частинками.

Нова теорія вимагала підтверджень. Виходячи зі своєї формули і використовуючи експериментальні дані про теплове випромінювання, М. Планк знайшов з високою на той час точністю майже у 4% величину елементарного електричного заряду. Він визначив з експериментальних вимірювань сталу Больцмана k_B , з газової сталої $R = k_B N_A$ – число Авогадро N_A , а з числа Фарадея $F = eN_A$ – величину елементарного заряду e . Так гіпотеза про кванти знайшла своє перше підтвердження!

Далі гіпотеза квантів крок за кроком охоплювала все нові й нові явища.

VI.

1905 року А. Айнштайн (1879–1955), який працював у цей час експертом у патентному бюро у Берні, використав гіпотезу Планка до пояснення фотоефекту. Важливо зазначити, в цій праці було чітко вказано на те, що квантування енергії світла відбувається не тільки в актах поглинання та випромінювання світла чорним тілом, а й що квантові властивості притаманні світлу як такому. 1907 року він застосував гіпотезу квантів також до опису коливань атомів твердого тіла і пояснення низькотемпературної поведінки теплоємності. Недолік цієї теорії, що всі атоми коливаються з однією частотою, пізніше виправили Петер Дебай (1884–1966), Макс Борн (1882–1970) і Теодор Карман (1881–1963), розглядаючи, на відміну від А. Айнштайна, коливання атомів як систему зв'язаних осциляторів, з частотами, розподіленими від нульового значення до деякого максимального. Це дало чудове узгодження з дослідом і пояснило кубічну залежність теплоємності від температури в низькотемпературній області.

1913 року Нільс Бор (1885–1962), який працював у Манчестерському університеті в Ернеста Резерфорда (1871–1937), застосував квантову гіпотезу до моделі атома Е. Резерфорда й побудував квантову теорію атома, сформулювавши свої знамениті постулати, які знає кожен школяр.

Умови квантування, сформульовані Н. Бором, 1916 року узагальнив Арнольд Зоммерфельд (1868–1951) на системи з декількома ступенями вільності, і вони відомі тепер як умови квантування Бора–Зоммерфельда. Цей етап розвитку квантової фізики тепер називають „старою” квантовою механікою. Вона зустрілася з труднощами, які не в стані була перебороти: не могла пояснити спектральні закономірності багатоелектронних атомів і навіть найпростішого з них – атома гелію; залишались без пояснень інтенсивності спектральних ліній атомів. Відчувалось, що потрібна нова квантова теорія, і вже з цих позицій Н. Бор сформулював принцип відповідності, згідно з яким у границі великих, макроскопічних траєкторій частинок квантова механіка повинна переходити у класичну механіку. Цей принцип був ключем до „вгадування” квантових формул.

VII.

Новий етап розвитку квантової фізики почався 1924 року, коли Луї де Бройль (1892–1987) висунув свою дивну гіпотезу про зіставлення кожній частинці хвилі, довжина якої λ , пов'язана з імпульсом частинки p , $\lambda = h/p$. Ервін Шредингер (1887–1961) з Цюрихського університету, готуючись до семінару з інформацією про праці де Бройля, перевів ці ідеї на „зручну” математичну мову і винайшов своє знамените рівняння (1926), відкривши так звану хвильову квантову механіку. А ще перед цим, з зовсім інших позицій, Вернер Гайзенберг (1901–1976), відштовхуючись від ідеї квантових переходів Бора, ввів замість класичних неперервних величин, величини, що мають два індекси (початкового і кінцевого станів атома), винайшов для них рівняння, в які входить стала Планка h , і створив матричну квантову механіку (1925). З'ясувалось, що це були не дві різні механіки, а лише її дві різні математичні мови. Створення квантової механіки завершилось відкриттям релятивістичного рівняння для електрона Полем Діраком (1902–1984), оригінальним математичним трюком добування кореня квадратного з суми квадратів (1928).

Створення кількох молодими вченими нової квантової теорії, а фактично нової фізики, за та-



кий короткий час (1925–1928) є феноменом, який не має прецеденту в історії науки.

Отже, за ці три-чотири роки була створена теорія, яка змінила світ не лише в галузі фундаментальної науки, а й навколишній світ, який ми спостерігаємо.

Ми і сьогодні не можемо логічно зрозуміти, що таке амплітуда ймовірності. Таке трактування хвильової ψ -функції де Бройля–Шредингера запропонував 1926 року М. Борн. Наша логіка є класичною, вона не допускає того, що ми називаємо дифракцією електронів, й на цьому є багато парадоксів: парадокс де Бройля, парадокс з живомертвим котом Шредингера, парадокс Айнштейна–Подольського–Розена (1935), які були предметом відомих дискусій – „двобою” Н. Бора й А. Айнштейна. Хід цих дискусій щодо ймовірнісної інтерпретації хвильової функції цікаво проілюструвати словами цих великих учених. А. Айнштейн: „Господь Бог не грає в кости”. Н. Бор у відповідь: „Не наша журба – приписувати Богу, як Йому слід керувати цим світом”.

Пізніший період розвитку квантової теорії можна назвати „калькуляційним”. Тисячі наукових праць були присвячені дослідженню різноманітних фізичних явищ з розрахунком на основі фундаментальних рівнянь квантової механіки фізичних величин, що характеризують ядра, атоми, молекули та їх сукупності в газоподібному, рідкому і твердому станах. Жодного разу квантова гіпотеза М. Планка не зазнала невдач.

Але час від часу фізики поверталися до змісту основної величини квантової механіки – хвильової функції. 1942 року американський фізик-теоретик Річард Фейнман (1918–1988) сформулював ще один варіант квантової механіки через таке поняття як інтеграли за шляхами від амплітуди ймовірності, вигляд якої він спостулював, виходячи з ідеї П. Дірака. Цей підхід не дає нових ре-

зультатів, але знову повертає нас до нібито класичного підрахунку ймовірності переходу квантової частинки з однієї точки простору в іншу за всіма можливими її класичними траєкторіями. Насправді ж використовується знову поняття амплітуди ймовірності, а її вигляд вибираються так, щоб забезпечити перехід до рівняння Шредингера. Отже, маємо ще одну, може якоюсь мірою несподівану, математичну мову квантової механіки, яка збагачує наше розуміння того, що відбувається у мікросвіті.

Сьогодні ми спостерігаємо період, який можна назвати „ ψ -ренесансом”, тобто вчені знову повернулися до намагань зрозуміти, що таке хвильова функція, майстерно „перекидаючи” мікроскопічні явища на природні для нас макроскопічні масштаби. Теперішні інструментальні можливості дають змогу досліджувати експериментально такі тонкі явища, як „живомертвий кіт Шредингера” та парадокс Айнштейна–Подольського–Розена, завдяки якому винайшли спочатку теоретично, а потім експериментально, так зване явище квантової телепортації. У фольклорі фізиків з’явилися такі поняття, як квантова криптографія та квантові комп’ютери, принцип дії яких ґрунтується на незбагнених властивостях ψ -функції та можливості яких є також ще незбагненими.

Завершуємо нашу розповідь про дивний світ квантів з усвідомленням того, що саме зв’язок таємничого механізму геніальних здогадок та вимушених кроків, які диктуються грою нашого розуму – логікою, дає змогу пізнавати навколишність в усій її Красі і Гармонії.

Література:

- Макс Планк. Избранные труды. М.: Наука. 1975.
 Вакарчук І. О. Квантова механіка. Львівський державний університет ім. І. Франка. Львів. 1998.

Редакція журналу „Світ фізики” вдячна панові доктореві Крейтові Морісу (Ph. D. Craig Morriss), пані Мирославі Грицуляк-Зубаль та пані Олександрі Ділінджер за підтримку українських обдарованих школярів із малозабезпечених сімей



Відкриття τ -нейтрино

Олександр Гальчинський,
кандидат фізико-математичних наук

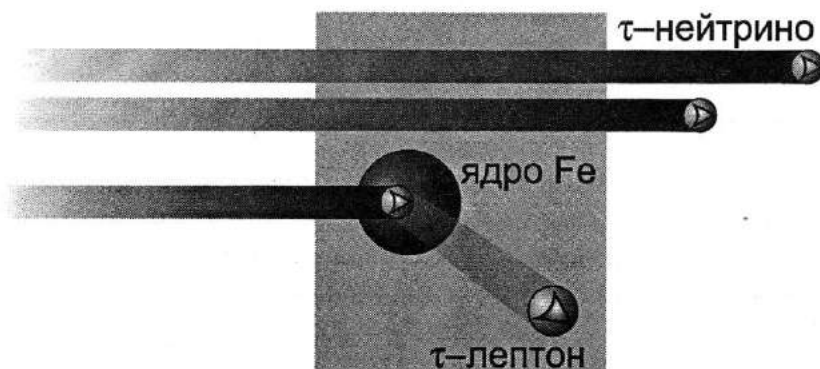
Нейтрино передбачив сімдесят років тому Вольфганг Паулі. Дослідження β -розпаду атомних ядер, при якому нейтрон у ядрі випромінює електрон, перетворюючись у протон, привернули увагу учених до проблеми збереження енергії. Енергія після β -розпаду всіх продуктів цього процесу була меншою, ніж енергія до розпаду. Це змусило учених задуматись, чи порушується тут закон збереження енергії, чи енергія виноситься якоюсь нейтральною частинкою, що вилітає одночасно з електроном, але її енергія не врахована в цих експериментах. В. Паулі надав перевагу другому варіантові, оскільки перед тим, він передбачив існування вже однієї нейтральної частинки – нейтрона. Нейтрон, за розрахунками вченого, є такою ж важкою, як протон, а частинка, що виносить енергію з ядра, мусить бути малою, як електрон. Тому Енріко Фермі, якому В. Паулі розповів про свою гіпотезу, запропонував назвати її нейтрино (італ. означає *нейтрончик*). Ось чому одна з субатомних частинок має італійське ім'я.

Нейтрон відкрили через два роки, а нейтрино аж через 26. Ця частинка була дуже „невловимою”. Вона не має електричного заряду, майже не взаємодіє з речовиною і, прилітаючи з космосу, вільно пронизує Земну кулю. І до яких хитрощів не вдавались фізики, щоб виявити нейтрино. 1956 року нарешті нейтрино виявили американські фізики Фредерік Райнес і Клайд Коуен з Лос-Аламоської національної лабораторії. Вони розмісти-

ли мішень, що мала величезну кількість протонів, у потужний потік антинейтрино, що випромінюється β -активними продуктами ділення в атомному реакторі. Взаємодія антинейтрино з протоном, за думкою вчених, мусила привести до утворення нейтрона і позитрона. Застосувавши складний сцинтиляційний детектор, що реєстрував одночасну появу нейтрона та позитрона, вчені отримали незаперечні докази існування нейтрино.

Нейтрино належить до класу частинок, які називаються лептонами, тобто „легкими”. До класу лептонів належать: електрон, мюон, τ -лептон та відповідні їм електронне нейтрино, мюонне нейтрино, τ -нейтрино, а також їхні античастинки. Перші два типи нейтрино фізики відкрили давно (електронне – 1956 р., мюонне* – 1962 р.) і тривалий час вони не здогадувались про існування третього типу. Аж 1975 року, коли стенфордський фізик Мартін Перл і його колеги відкрили τ -лептон, то відразу ж передбачили, що їй мусить відповідати τ -нейтрино. Пошук цієї частинки розпочали фізики світу. Це насамперед учені Європейського центру ядерних досліджень (ЦЕРН), Лабораторії Фермі тощо. Пощастило зробити відкриття τ -нейтрино групі фізиків із США, Японії, Південної Кореї, що працювали на потужному протонному прискорювачі „Теватрон” у Лабораторії Фермі. Вони розганяли протони майже до швидкості світла і спрямовували їх на

вольфрамову мішень. Зіткнення протонів з вольфрамом породжувало пучок нових частинок, а серед них і τ -нейтрино. На шляху цього пучка розмістили товстий екран, що затримував усі частинки, крім нейтрино. Після екрану пучок ней-



* Про відкриття мюонного нейтрино можна прочитати в журналі „Світ фізики”. 1999. № 3. С. 23–25.



трино, серед них і τ -нейтрино потрапляв на залізну емульсію. Там τ -нейтрино, зіткнувшись з ядром заліза, породжувало τ -лептон – частинку, яка залишала характерний слід у шарах емульсії. Світла плямка, розміром близько міліметра – слід τ -лептона, свідчила про τ -нейтрино, яке породило τ -лептон. Чотири нейтрино залишило докази свого існування в цих експериментах, чотири зі ста мільярдів, що, за розрахунками вчених, пролетіли через емульсію. Отже, 2000-го року довгоочікуване відкриття здійснилось!

Три види нейтрино – реальність! Однак деякі фізики, наприклад Девід Колдуен із Каліфорнійського університету припускає, що в природі існують і так звані „стерильні” нейтрино, не пов’язані „генетично” з іншими частинками. Але з їхніми пошуками фізики не поспішають тому, що вони не вписуються в стандартну модель – загальну теорію субатомних частинок, і ще невідомо як їх реєструвати. Адже інші типи нейтрино зареєстрували опосередковано за народженням „генетично” пов’язаних з ними частинок. Сама ж стандартна модель не досконала, хоча ця теорія була створена близько 30 років тому. За цією теорією, матерія складається з двох типів частинок: із лептонів та кварків. Керують цими „цеглинками” речовини три взаємодії: електромагнетна, сильна та слабка. У природі існує ще четверта взаємодія – гравітація, але її описує не стандартна модель, а загальна теорія відносності. Всі взаємодії реалізуються за допомогою частинок-квантів. Не раз фізики намагались об’єднати всі чотири взаємодії в єдиній теорії, але поки що з цього нічого не вийшло. Не має відповіді на запитання, чому в природі існує чотири сили, а не 5, не 10 і не 20? За стандартною моделлю нейтрино, як і фотон мусить

бути без маси спокою. Але багато що свідчить, що маса, хоч і дуже маленька, має бути.

Спроби визначити масу спокою нейтрино робляться вже впродовж 30 років. Спочатку це зробили шведські фізики, пізніше російські, ще пізніше – американські. Щоразу експерименти ставали все витонченішими, апаратура досконалішою, а маса нейтрино – усе меншою. Метод вимірювання маси нейтрино ґрунтується на реєстрації взаємних перетворень одного виду нейтрино в інший (осциляції). Фізики із Лос-Аламоської національної лабораторії оцінили, що маса спокою нейтрино не більша від 5 еВ ($m_0 = E/c^2$), тобто в 100 000 разів менша від маси електрона – самої легкої з решти частинок. Японці, які вивчають нейтрино на своєму детекторі „Супер-Каміоканде”, отримали перші реальні докази того, що нейтрино осцилюють. А це вказує на те, що нейтрино все ж таки мають масу спокою, і вони оцінюють її меншою, ніж 5 еВ. Вимірюють її з такою наполегливістю, щоб підрахувати середню густину речовини у Всесвіті.

Фізики вважають, що нейтрино кількісно домінують над іншими частинками і це, нарешті, дасть змогу з’ясувати, як розвиватиметься Всесвіт. Сьогодні до цього переліку можна віднести й τ -нейтрино, яка була передостанньою частинкою із невідкритих „цеглинок” речовини, за стандартною моделлю. Тепер залишилась остання – „Бозон Хігса”, що належить до класу адронів, класу елементарних частинок, які беруть участь у сильних взаємодіях. Адрони – це мезони (піони й каони) та баріони (нуклони й гіперони).

І знову відомі Лабораторія Фермі та ЦЕРН „полоють” за цією частинкою. Її відкриття, як оцінює більшість фізиків, відбудеться на Великому адронному прискорювачі, який почне працювати в ЦЕРНі через 5–6 років.





ЯРОСЛАВ ЯЦКІВ

60 років від дня
народження

Ярослав Степанович ЯЦКІВ – видатний учений у галузі астрономії, космічної геодинаміки та космічних досліджень, активний громадський діяч, лауреат Державної премії України (1983), Державної премії СРСР у галузі науки та техніки (1986), академік НАН України.

Народився Ярослав Яцків 25 жовтня 1940 року в селі Данильче (нині Івано-Франківська область). 1960 року закінчив Львівський політехнічний інститут, а в 1960–1962 рр. працював астрономом-спостерігачем у Полтавській гравіметричній обсерваторії АН УРСР. Після закінчення 1965 року аспірантури Головної астрономічної обсерваторії НАН України (ГАО) працює в цій обсерваторії (з 1975 року її директор). З 1975 року – доктор фізико-математичних наук, з 1985 – академік НАН України.

Основні наукові праці Я. Яцківа присвячені вивченню особливостей обертання Землі, космічній геодинаміці, фундаментальній астрометрії. У галузі обертання Землі учений виконав великий цикл досліджень з вивчення так званих вільного та вимушеного рухів полюсів Землі, вперше визначив новий тип вільної добової нутації Землі. Він був ініціатором і активним виконавцем



наукової роботи з визначення координат полюсів Землі з 1846 до 1969 рр. з астрономічних спостережень. Цей ряд координат полюса, відомий серед науковців як „київський ряд”, набув широкого застосування у геодезії, геофізиці, геодинаміці.

Ярослав Яцків – яскравий представник широко званої у світі наукової школи О. Орлова – Є. Федорова та продовжувач її традицій. Велика його заслуга у пропагуванні та подальшому розвитку ідей Є. Федорова з теорії нутації, яка має важливе значення для визначення орієнтації осі обертання Землі у просторі. Завдяки ініціативам Ярослава Степановича та його наполегливості як Голови секції „Астрометрія” Астрономічної ради



СРСР у 1970-х рр. на теренах колишнього СРСР, а також на Україні, почали розвиватися і впроваджуватися у практику нові технічні засоби спостереження, які визначають параметри обертання Землі (лазерна локація штучних супутників, радіоінтерферометрія з наддовгою базою, радіотехнічні спостереження навігаційних супутників – GPS-спостереження). Під керівництвом Я. Яцківа в Україні створена мережа станцій астро-геодинамічних спостережень, яка є частиною світової мережі. А в ГАО НАН України під керівництвом Я. Яцківа з 1990-х рр. діють міжнародні центри з опрацювання цих спостережень, отриманих новими технічними засобами.

Я. Яцків запропонував нові підходи до побудови глобальної геоцентричної та небесної систем координат. За його керівництвом та безпосередньою участю створено високоточні каталоги фундаментальних слабких зір та джерел космічного радіовипромінювання.

Учений брав активну участь у підготовці та виконанні космічних програм ВЕГА, СОПРОГ, ФОБОС, МАРС, а також в організації космічних досліджень АН УРСР (1986–1992). Сьогодні як член Президії НАН України Я. Яцків координує космічні дослідження наукових установ НАН України.

Про міжнародне визнання наукового авторитету Я. Яцківа свідчить обрання його віце-президентом Міжнародної астрономічної спілки (1982–1986), президентом Комісії 19 МАС „Обертання Землі” (1982–1986), співголовою секції Міжнародної геодезичної асоціації, головою дирекції Міжнародної служби обертання Землі (1992–1995) та інших міжнародних наукових організацій.

Багатогранність таланту Я. Яцківа, його високу ерудицію видно у його наукових (понад 200), численних науково-популярних працях та низці відомих монографій.

Під керівництвом ученого Головна астрономічна обсерваторія НАН України набула широкого міжнародного визнання, стала однією з найбільших в Європі. Завдяки видатним організаторським здібностям, наполегливості, ініціативі Я. Яцківа започатковано й успішно завершено будівництво Високогірної спостережної бази ГАО на піку Терскол (Кавказ). Нині ця найвища в

Європі астрофізична обсерваторія, яка оснащена двометровим телескопом, входить до складу Міжнародного центру астрономічних і медико-екологічних досліджень.

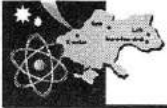
1991 року Я. Яцків ініціював створення Української астрономічної асоціації (УАА) і є її незмінним Президентом. Своєю діяльністю УАА сприяє об'єднанню та координації астрономічних досліджень в Україні.

Я. Яцків – засновник і головний редактор журналу „Кинематика і фізика небесних тел” (виходить з 1985 р.), заступник головного редактора журналу „Космічна наука і технологія” (з 1995 р.). Широке визнання набула діяльність Я. Яцківа як Голови Українського Міжнародного комітету з питань науки і культури при НАН України (з 1990 р.), яка сприяє зміцненню міжнародних зв'язків учених України з колегами інших країн. Популярними стали засідання дискусійного клубу „Елітарна світлиця” під головуванням ученого, які проводить Комітет щомісячно у Будинку учителя. З 1999 року Я. Яцків є членом Президії НАН України. Він активний громадський діяч, заступник голови Конгресу Української інтелігенції. З 2000 року Я. Яцків – перший заступник міністра Міністерства освіти і науки України. Високий виконавчий орган, який він очолює, спрямовує свої зусилля на формування в країні системи, яка б якнайкраще сприяла розвитку наукового і технічного потенціалу нашої держави.

Ярослав Яцків – заслужений діяч науки України, лауреат багатьох наукових премій, серед яких „Фундація доктора Дем'янів. За мир і свободу України”, премія НАН України імені Є. П. Федорова. Його нагороджено орденами „За заслуги” III та II ступенів, він є іноземним членом Польської академії наук, академіком Міжнародної академії астронавтики та членом багатьох міжнародних наукових організацій.

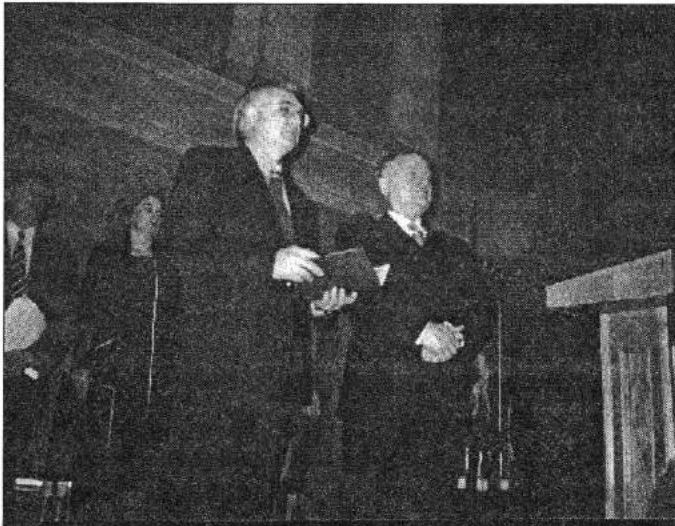
Мала планета Сонячної системи № 2728 носить ім'я „Яцків”. Своє 60-річчя учений зустрів у розквіті творчих сил, сповнений цікавих планів та задумів.

З роси і води Вам, шановний пане Ярославе, многих і благих літ Вам у здоров'ї, радості й творчому натхненні!



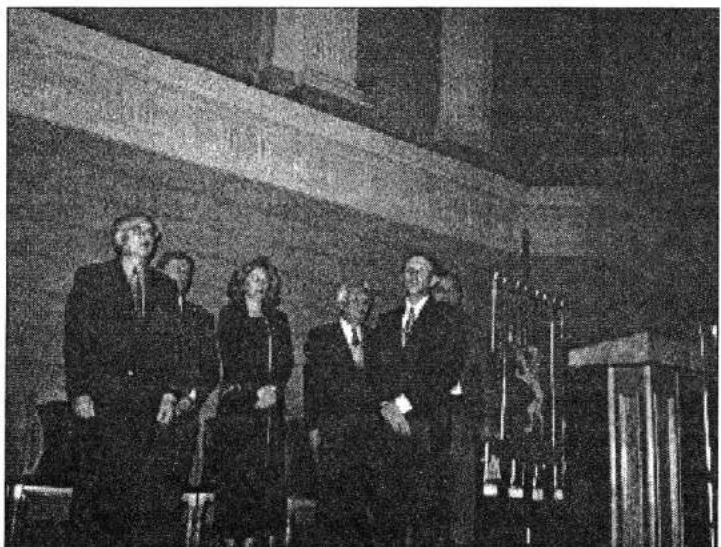
ПОЧЕСНІ ДОКТОРИ ЛЬВІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА –

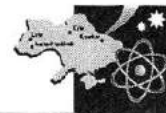
ДМИТРО ПАВЛИЧКО, МИХАЙЛО БРОДИН, ВОЛОДИМИР СЕМИНОЖЕНКО



Традиція присвоювати звання Почесного Доктора „HONORIS CAUSA” видатним особистостям науки, культури, політики існує давно в університетах Європи. Збереглися відомості, що у Львівському національному університеті імені Івана Франка цей високий титул було вперше присвоєно 1894 року Казимирові Бадені. Почесними Докторами Львівського університету були відомі особистості з різних країн, серед них, зокрема, Марія Кюрі–Скłodовська. Сьогодні цю традицію відродили в університетах України.

Рішенням Ученої Ради від 23 лютого 2000 року звання Почесний Доктор Львівського національного університету імені Івана Франка присвоєно за вагомий внесок в українську філологічну науку видатному українському письменникові, літературознавцеві, перекладачеві, громадському діячеві, Надзвичайному й Уповноваженому послові Республіки Польща, лавреатові Державної премії ім.Т.Г.Шевченка Дмитрові Васильовичу Павличкові; за вагомий внесок у розвиток науки та видатні досягнення у галузі фізики академікові НАН України, докторові фізико-математичних наук





Михайлові Семеновичу Бродину; академікові НАН України, докторові фізико-математичних наук, професорові, відомому державному діячеві, народному депутатові України Володимирові Семиноженкові – за вагомих внесок у розвиток науки та активну громадсько-політичну діяльність.

Вручення дипломів Почесного Доктора Львівського національного університету імені Івана Франка відбулося в День Університету, 11 жовтня 2000 року.

Ми вітаємо Університет і його Почесних Докторів. Нам особливо приємно, що серед них є два визначні українські фізики, щирі прихильники нашого журналу. Їхні виступи пропонуємо нашим читачам.



З виступу академіка Михайла Бродина

*„Вельмишановий пане Ректоре,
вельмишановна Вчена Радо, вельмишановні
друзі, колеги, дорогі студенти!*

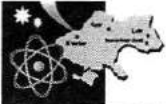
Насамперед хочу висловити сердечну подяку Вченій Раді і керівництву Львівського національного університету імені Івана Франка за високу честь присвоєння мені звання Почесного Доктора Львівського національного університету імені Івана Франка. Носити високе звання Почесного Доктора Львівського університету – цього визнаного центру освіти, науки і культури, що має великі досягнення з усіх напрямів діяльності, відомі не лише в Україні, але й далеко за її межами, Університету з давними традиціями, історією, у якому працювали й працюють сьогодні видатні учені й педагоги; Університеті, з яким пов'язані імена таких велетнів, як Іван Франко, Михайло Грушевський. Носити таке звання було б великою гордістю для кожної людини, не тільки для мене.

Для мене, з моїми скромними заслугами, – це особлива гордість і честь. У цьому Університеті пройшли крапці роки моєї студентсь-

кої юності, я підтримую тісні стосунки з моїми друзями, колегами-фізиками. Моє навчання у Львівському університеті було для мене (і не лише для мене) великою стартовою професійною школою, а також великою школою життя. Школу цю я проходив, як і всі ми, в складних умовах. Сьогодні принагідно з почуттям великого жалю і вдячності хочу згадати тих наших тодішніх наставників, професорів, викладачів, які на високому рівні закладали основи наших знань і в умовах ідеологічного режиму тодішньої системи морально підтримували нас. Я маю на увазі, зокрема, професорів В. Міліянчука, М. Зарицького, В. Левицького і багатьох інших. Їх давно уже немає серед нас...

Шановні друзі, перед нами велике завдання, велика місія в умовах перехідного періоду розбудови нашої держави – робити реальний внесок у цю велику і корисну справу. Я хотів би навести невеликий приклад того, як часом досягнення у спеціальній галузі може прислужитись справі, яка, здавалось би, знаходиться далеко від цієї галузі.

Декілька слів про себе. Усе моє трудове життя після закінчення Університету пройшло в Інституті фізики НАН України, де я починав аспірантом і де працюю досі. У цьо-



му інституті працювало багато визначних учених, і цей інститут відіграв велику роль у розвитку фізичної науки в Україні.

Одним із напрямів наукової діяльності нашого інституту в останні десятиріччя є фізика лазерів і фізика взаємодії лазерного випромінювання з середовищем. Ви, мабуть, знаєте, що лазери – одне із найбільших досягнень науки і техніки ХХ сторіччя, і недарма автори цього відкриття були удостоєні Нобелівської премії, а пізніше, ще три роботи, які ґрунтувались на використанні лазерів, також отримали Нобелівські премії. Лазери, завдяки унікальним властивостям їхнього випромінювання, створили нові напрями науки. Одним із таких була і є голографія. Голографія, як Ви знаєте, – це спосіб отримання об'ємного зображення. Цей напрям розвивався і в нашому інституті. І коли у 1960-х роках київські археологи розкопали Скіфське золото (знаменита пектораль), звичайно, було дуже важливим для наукових досліджень сфотографувати ці об'єкти.

В Інституті фізики АН України мої колеги висловили думку, щоб використати властивості голографії для створення голографічних копій цих дуже цінних об'єктів. Для цього потрібно було удосконалити лазерну техніку. Ця робота була проведена успішно. Згодом це відіграло дуже велику роль у популяризації української культури і науки не тільки в Україні, колишньому Радянському Союзі, а й далеко за кордоном.

Була організована голографічна виставка музейних цінностей України, художніх творів. Вона побувала в багатьох країнах світу. Я був на деяких з них і можу засвідчити, яке велике значення вона мала для такої популяризації. Ви розумієте, що в умовах Радянського Союзу пересічна людина на Заході, навіть інтелігентна, дуже мало знала про Україну. І коли ми їм показували такі експонати, то розповідали, що є такий народ, є Україна, що вона має давню історію, яка має таку науку, що дає змогу транспортувати ці витвори мистецтва і показувати їх у такому вигляді.



МИХАЙЛО СЕМЕНОВИЧ БРОДИН – видатний український фізик, учений зі світовим іменем, доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України, заслужений діяч науки і техніки України, спеціаліст і керівник наукової школи з низькотемпературної спектроскопії кристалів, нелінійної оптики та фізики напівпровідникових лазерів. Автор понад 300 наукових праць, п'яти монографій.

Михайло Бродин закінчив фізико-математичний факультет Львівського університету імені Івана Франка 1953 року. Він народився 30 вересня 1931 року в селі з поетичною назвою Сівка-Войнилівська на Івано-Франківщині в родині інтелігентних селян. Його роки навчання в середній школі та університеті припали на ті похмурі часи, які добре відомі старшому поколінню. Якось академік Ігор Юхновський, згадуючи ці часи, сказав, що влада не могла схопити за руку фізика. Вона хотіла, але не було підстав... Проїшовши школу Львівського університету, Михайло Бродин навчався в аспірантурі, а згодом почав працювати в Київському Інституті фізики АН України в Києві. З цим академічним інститутом пов'язана його наукова діяльність, вже п'ятнадцять років він директор цього Інституту. Майже десять років (1990–1998) був академіком-секретарем відділення фізики і астрономії НАН України.



Пригадую, як 1975 року в Англії виставку відвідали міністр закордонних справ, міністр культури, а з радянського боку – посол. Голограми створювали таке об'ємне зображення, що воно сприймалось наче реальне. Високі гості слухали про голографію, оглядали експозицію, а після цього радянський посол, підійшовши до голограми, спробував рукою перевірити, чи справді за голограмою не має предмета...

Наше завдання сьогодні – якомога ширше впроваджувати ці досягнення науки, прагнути до цього. Я хотів би сказати, що нам постійно треба дбати про престиж науки, вищої освіти. Ми прекрасно розуміємо, що основа технічного прогресу держави, основа добробуту країни, залежить від рівня виробництва і впровадження високих технологій. А це, безперечно, є завданням науки. Наприклад, Швейцарія з її семимільйонним населенням, з майже відсутньою сировинною базою і без родючих ґрунтів здатна забезпечити своєму народові високий рівень

життя. Вона експортує щорічно товарів на сто мільярдів доларів. Це приблизно в півтора раза більше, ніж Росія з її ста сорока мільйонним населенням і величезною сировинною базою. Це ґрунтується насамперед на високих технологіях і науці.

Я бажаю усім нам, щоб ми зберегли і примножували наші здобутки.

Львівському національному університетові імені Івана Франка, його фізикам, бажаю примножувати все те, що знають фахівці далеко за межами України. У вашому Університеті є школа теоретичної фізики, прекрасна школа оптики, фізики твердого тіла. Усім Вам бажаю великих успіхів у розвитку цих та інших напрямів і розбудовуйте нашу державу, підвищуйте добробут свій і всього нашого народу.

Великих творчих успіхів Вам, щастя, здоров'я, добра. Студентам зичу щасливої долі, вірю, що Ви станете видатними особистостями, достойними престижу ваших наставників."

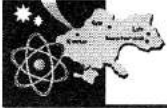
Михайло Бродин, з талантом від Бога, стрімко піднімався як учений. За три роки після закінчення університету захистив кандидатську дисертацію, відтак докторську працю. У 32 роки, за експериментальні дослідження екситонів у кристалах, які він провів в Інституті фізики, учений став лауреатом Ленінської премії (1966). Наукові здобутки М. Бродина відзначені й іншими Державними преміями у царині науки і техніки (1974, 1982, 1994).

Михайло Бродин створив у нашій державі школу оптики, школу квантової електроніки, відкрив декілька напрямів, представники яких користуються дуже високою повагою в усьому світі.

Академік М. Бродин дбає про підготовку наукової зміни. Він керує науковими дослідженнями аспірантів та докторантів, неодноразово виступав з семестровими циклами лекцій для студентів і молодих науковців. Він підготував десятки спеціалістів. Ці люди працюють у всіх провідних наукових установах, університетах, не тільки України.

М. Бродин увесь час зацікавлено стежить за здобутками фізиків не лише у своєму інституті, але й в інших університетах нашої держави, усіяко сприяє їм. Це і моральна допомога і матеріальна, зустрічі зі студентами, викладачами. Учений усе своє життя присвятив науці, займає активну політичну позицію. Він достойний син свого часу, свого народу, своєї держави.

М. Бродин є заступником головного редактора „Українського фізичного журналу”, членом редколегії декількох авторитетних періодичних наукових видань (зокрема закордонних), членом наукових товариств України та інших країн, членом Комітету з Державних премій України з науки і техніки.



З виступу академіка Володимира Семиноженка

*Вельмишановний пане Ректоре,
вельмишановні пани професори, доктори,
члени Вченої Ради, студентство, колеги!*

Це велика честь бути Почесним Доктором Львівського національного університету імені Івана Франка.

Львівський університет – найстаріший в Україні. Він не тільки завжди був символом європейськості, європейської освіти, символом і центром освіти, науки і культури. Я, думаю, сьогодні правильніше було б використати слово, святий в Україні. І називатись Почесним Доктором, це мрія кожного громадянина України, кожного патріота нашої держави. Я шкодую, що не вчився у Львівському університеті, але доля якось все виправляє, і не випадково, що Львівський та Харківський університети (я вчився у Харківському університеті), два найстаріші в Україні університети отримали статус національних одночасно. Я постійно підтримував зв'язки з цими університетами... Коли я вступив до

Харківського університету (1967), то було обов'язковим щотижневим навчання української мови.

Шановні друзі, мені хотілося б сьогодні Вам сказати багато про спеціальність, якою я займався. З великим задоволенням я розповів би Вам, сьогодні, як працює найчутливіший спектрометр людини в Святошино у Києві, через який пройшли тисячі й тисячі людей, про останній проєкт, який здійснюється під моїм науковим керівництвом. Це побудова космічних телескопів у США чи про роль наших українських учених у проєктах, які сьогодні реалізується в ЦЕРНі. Може б це й справді було цікаво, якби не той тон, який щойно задав Університет.

Одже, ми повинні сьогодні більше говорити про те, що складається з усіх наших окремих дій і як це відповідатиме вимогам часу, якою ми хочемо бачити нашу державу і як її будувати. Уже майже десять років нашої Незалежній Україні. Це десятиріччя було

ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ СЕМИНОЖЕНКО народився 9 червня 1950 року в Києві в сім'ї військово-службовця. З 1961 року проживає в Харкові. Володимир Семиноженко закінчив фізико-математичну школу № 27 у м. Харкові з золотою медаллю. Навчався на фізико-технічному факультеті Харківського університету, який закінчив 1972 року з відзнакою. За два роки після завершення навчання в університеті захистив кандидатську дисертацію, в 33 роки – докторську дисертацію, а в 42 роки його обрали академіком НАН України, а через рік він уже працює молодшим науковим співробітником Донецького фізико-технічного інституту. Майже десять років (1975–1985) працював у фізико-технічному інституті низьких температур АН України м. Харкові.





символом національно-патріотичного поступу, і настає час, коли ми знову визначасмо, що треба зробити, аби наші наукові центри були основними провідниками, основними компонентами сучасної економіки, яка все більше і більше наповнює наш світ.

Творити вектор сучасної економіки – це будувати інноваційне суспільство, – це національна мета нашої держави. Ми часто використовуємо такі слова, як глобалізація, глобальна економіка, інформаційне сторіччя. Ми визначаємо структуру нашої економіки, особливо, коли приймаємо бюджет, дивимось на те, що, як не прикро, її сучасність не відповідає тим тенденціям, які сьогодні є у світі.

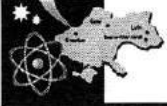
Ми намагаємось започаткувати в Україні нові тенденції, такі, наприклад, як технопарки. Саме цього року ми можемо говорити про нову якість економіки, коли вона захоплюється наукою, а наука – економікою. Сьогодні все, що робиться, в рамках технопарків, йде на розвиток науково-технічної бази технопарку. У них може взяти участь кожна установа нашої держави. Згадаймо про наші цікаві досягнення, які ще недавно були не конкурентні в Україні. Скажімо, наші вакцини проти туберкульозу пройшли випробування в Туреччині. Приблизно три місяці тому наші мікробіологічні препарати – тест-системи СНІДу – були випробувані в Індоне-

зії. Це те, що світ відчував роль України, в таких галузях, які відносяться до найвищих технологій, і ми засвідчили ту якість, якої світ чекає. Однак таких паростків не дуже багато, і це відчувається якраз напередодні прийняття бюджету. Бюджет доводиться приймати сьогодні більш соціальний, ніж бюджет сучасного розвитку.

І тому виникає запитання, чого справді нам не вистачає? Нам не вистачає єдності та чітко окресленої національної ідеї, національної мети, яка працювала б не на ідею економіки, а могла б окреслити якість суспільства. Те, що сьогодні часто говорять про позитивні структурні зміни, це свідчить, що економіка йде інформаційно. Але вищий рівень інноваційності було б інноваційне суспільство, в яке повинно закладатися дуже багато – це партнерство, кооперація, солідарність суспільства, суспільство, яке відтворює себе з дуже високою рентабельністю, з дуже високою швидкістю. І Ви бачите, що найкращі досягнення молодого України були забезпечені визначеністю саме такої національної ідеї. Хрестоматійний приклад, – це часи Рузвельта, ... був план демократії Клінтона, була ідея об'єднання Західної та Східної Німеччини, а сьогодні – єврооб'єднання.

Я думаю, що ми готові підійти до визначення нашої національної мети, – інновацій-

Володимир Семиноженко – відомий учений-фізик, доктор фізико-математичних наук, професор, академік, член Президії Національної академії наук України, голова Північно-Східного наукового центру, науковий керівник одного з найбільших в Україні науково-технологічного концерну „Інститут монокристалів”, створив і очолив один із перших в Україні технопарк „Інститут монокристалів”. Народний депутат України, голова Національного фонду „Україна – дітям”, голова Української федерації учених; у недалекому минулому – Віце-прем'єр-міністр України, Міністр у справах науки і технологій, голова Комітету Верховної Ради України з питань науки і освіти. Лауреат Державної премії України, автор трьох монографій, понад 300 наукових праць та винаходів у галузі теоретичної фізики, фізики твердого тіла, функціонального матеріалознавства. Дійсний (почесний) член Академії мистецтв України, член Національної спілки художників України і Спілки фотохудожників України.



ного суспільства. Для цього їй не багато треба. Ми дивуємось прикладом Індії, яка вже цього року за прогнозами матиме експортний потенціал не менше, ніж 4 мільярди доларів і ця цифра більше, ніж на 30 відсотків складається з інформаційних технологій.

Нам передусім потрібно чітко визначити пріоритети. А пріоритети за освітою та наукою. І безумовно – це завдання технопарку, який працював би на людину. Ми маємо унікальний ресурс – це інформаційність. Його можна сприймати і позитивно, і негативно. Негативні, це традиції радянського суспільства, традиції тоталітаризму, вони це, як не прикро, є. Це дуже негативний момент, однак є й інший. Вони сприймаються як традиції наших наукових шкіл, як науковий підхід до створення наших національних проєктів. І нам слід використати цей унікальний гуманітарний капітал, який є основним стрижнем

нашої економіки, нашого суспільства. Можна було б і помріяти по різних моделях, як реалізувати це. Проте, я думаю, що основними осередками будуть такі, як технопарки, технополіси, соціополіси. Це об'єднання можливості законів з концентрацією можливостей держави, які спрямовуються на ці локомотиви: наукові, інформаційні, економічні. Я абсолютно впевнений, що такими центрами повинні стати наші провідні університети, і безумовно, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Відтворення гуманітарного капіталу – це справді дуже складне завдання, але це основна гарантія нашого прогресу.

Гарантією для мене на цьому шляху є диплом Почесного Доктора Львівського національного університету імені Івана Франка. Тепер я уже можу сказати нашого Університету.

Указом Президента України № 1302/2000 від 5 грудня 2000 року присуджено Державні премії України в галузі науки і техніки 2000 року:

– за розробку і створення апаратних комплексів та їх застосування в ядерній фізиці, енергетиці та інших галузях науки і техніки:

Семиноженку Володимир Петровичу – академікові НАН України, науковому керівникові Науково-технологічного концерну „Інститут монокристалів” НАН України,

Рижикову Володимир Діомидовичу – докторові фізико-математичних наук, директорові Науково-технологічного концерну „Інститут монокристалів” НАН України,

Применку Георгію Івановичу – докторові фізико-математичних наук, завідувачеві кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Прокопцю Генадію Олександровичу – докторові фізико-математичних наук, професорові кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Шевченку Валерію Андрійовичу – докторові фізико-математичних наук, доцентові кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Каденку Ігорю Миколайовичу – кандидатів фізико-математичних наук, доцентів кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

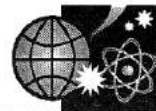
Лещенку Борису Юхимовичу – кандидатів фізико-математичних наук, доцентів кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Майданюку Володимир Карповичу – кандидатів фізико-математичних наук, завідувачеві лабораторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Коржу Івану Олександровичу – докторові фізико-математичних наук, завідувачеві відділу Наукового центру „Інститут ядерних досліджень” НАН України,

Коломійцю Миколі Федоровичу – кандидатів технічних наук, завідувачеві відділу Наукового центру „Інститут ядерних досліджень” НАН України.

(Читайте продовження на стор. 29)



МАКС КАРЛ ЕРНСТ ЛЮДВІГ ПЛАНК

Іван Вакарчук, Галина Шопа

$$h = 6,6260755(40) \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

Німецький учений Макс Карл Ернст Людвіг Планк народився 23 квітня 1858 року в м. Кіль, Шлезвіг-Гольштайн.

Макс Планк походить з академічної сім'ї – його батько, професор права у м. Кіль, дід і прадід були професорами теології у Геттінгені. 1867 року родина Планків переїхала до Мюнхена, де Макс ходив до гімназії. Він вчився добре, однак не блискуче, за успішністю був між третім і восьмим у класі. Там учитель математики зацікавив М. Планка природничими і точними науками.

1874 року у 16-річному віці М. Планк вступив до Мюнхенського університету. М. Планк вибирав між класичною філологією, фізикою і музикою. Один з його професорів у Мюнхені, фізик-експериментатор Філіп фон Йоллі радив Планкові обрати іншу професію, оскільки вважав, що фізика – наука, по суті завершена і має мало шансів на подальший розвиток, оскільки найцікавіше, тобто закон збереження енергії, було вже відкрито. Однак М. Планк таки вирішив займатися фізикою.

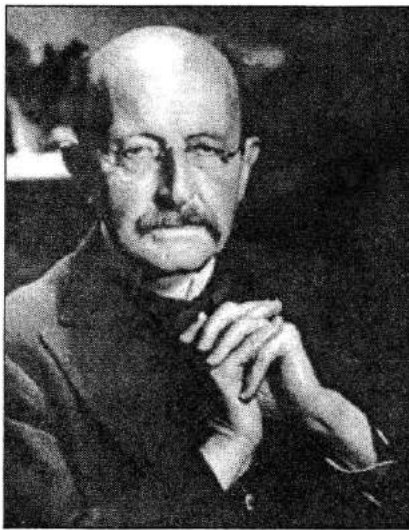
Свій вибір він пояснював так: „Зовнішній світ незалежний від людини, це щось абсолютне, і пошук законів, що керують цим абсолютним, видається мені найвищим науковим пошуком у житті.”

Потім М. Планк навчався у Берліні, де його вчителями були Герман Гельмгольц (1821–1894) і Густав Кірхгоф (1824–1887), а також слухав лек-



ції Карла Веерштрасса (1815–1897). Пізніше він писав, що дуже захоплювався Г. Кірхгофом, але як учитель, той був сухуватий і занудний. Завдяки впливові цих учених наукова зацікавленість М. Планка надовго зосередилась в галузі термодинаміки.

М. Планк повернувся до Мюнхена і захистив докторат про другий закон термодинаміки. Тоді він мав 21 рік. Праці М. Планка з термодинаміки та їхнє застосування в фізичній хімії та електрохімії отримали міжнародне визнання. Він був прийнятий на посаду викладача до Мюнхенського університету 1880 року і викладав там до 1885. 1885 року М. Планка призначають завідувачем кафедри у м. Кіль. На цій посаді він пропрацював 4 роки. Після смерті Г. Кірхгофа М. Планк очолив кафедру теоретичної фізики Берлінського університету. Цю кафедру він очолював упродовж 38 років аж до 1927 року, коли вийшов на пенсію. Повним професором М. Планк став 1892 року.



1896 року М. Планк зацікавився вимірюваннями теплового випромінювання, що здійснювались в Берлінському фізико-технічному інституті. Як показали ці дослідження, графік залежності енергії, що випромінюється, від частоти є характерним. Він досягає максимуму за конкретної частоти, а при вищих та нижчих частотах наближається до нуля. При збільшенні температури крива зберігає свою форму, але зсувається в бік вищих частот.

Під впливом теорії електромагнетної природи світла Дж. Максвелла (1831–1879) М. Планк підійшов до проблеми випромінювання абсолютно чорного тіла з точки зору розподілу енергії між елементарними електричними осциляторами, не конкретизуючи їхньої фізичної природи. 1900 року після тривалих спроб вдалось вивести формулу, що добре узгоджувалась з експериментальними результатами. Для виведення своєї формули він увів, що енергія осцилятора змінюється дискретно, а кожний крок по енергії дорівнює деякій постійній, помноженій на частоту. Дискретні порції енергії згодом отримали назву квантів. Уведена М. Планком гіпотеза започаткувала квантову фізику. Ані М. Планк, ані інші фізики відразу не усвідомили відкриття кванта. Для М. Планка квант був усього лише засобом, що дав змогу вивести формулу, яка добре узгоджується з кривою випромінювання абсолютно чорного тіла.

1918 року Макс Планк одержав Нобелівську премію „за вагомй заслуги у розвитку фізики завдяки відкриттю квантів енергії”. У Нобелівській

лекції, яку вчений прочитав 1920 року, він наголосив, що введення кванта ще не привело до створення справді квантової теорії.

М. Планк виконував адміністративні обов'язки Секретаря відділу математичних і природничих наук Пруської Академії наук. На цій посаді він перебував з 1912 до 1943 року. До Академії учений був обраний 1894 року.

1928 року у 70-ти річному віці М. Планк пішов у відставку, але і далі підтримував контакти з науковим світом.

Особисте життя ученого було тяжким. Його дружина Марія Мерк померла 1909 року. Під час Першої світової війни під Верденом загинув його старший син. Обидві дочки померли відразу ж після одруження при пологах. Під час Другої світової війни (1944) стратили сина Ервіна за звинуваченням у змові вбити Гітлера; згорів його будинок у Берліні під час повітряного нальоту і згоріла уся бібліотека, яку він збирав усе життя. Під час поїздки до Касселя М. Планк був засипаний у бомбосховищі, звідкіля його декілька годин відкопували. Удари долі не зламали М. Планка, а його девізом були слова: „*Man muss Optimist sein*” („треба бути оптимістом”).





М. Планк цікавився філософськими проблемами, виступав перед слухачами та друкував статті у пресі. Він виконував обов'язки пастора в Берліні (хоча не мав священницького сану). Учений був глибоко переконаний, що наука доповнює релігію і вчить правдивості й поваги.

Макс Планк дуже любив музику, був чудовим піаністом, часто грав камерні твори з іншими ученими. Він також захоплювався альпінізмом і майже кожен свою відпустку проводив у Альпах.

Крім Нобелівської премії, Макс Планк був удостоєний медалі Коплі Лондонського королівського товариства (1928) та премії Гете (1946). Німецьке фізичне товариство назвало свою найвищу нагороду медаллю Планка. Цією почесною медаллю М. Планк був нагороджений першим. Після Другої світової війни Товариство фундаментальних наук Кайзера Вільгельма було перейменовано у Товариство Макса Планка. М. Планк був членом Німецької та Австрійської академії наук, а також наукових товариств і академій Англії, Данії, Ірландії, Фінляндії, Греції, Угорщини, Італії, Швеції, України, Америки та інших.

Макс Планк був також дійсним членом Наукового Товариства ім. Шевченка. У листі-відповіді на своє обрання дійсним членом НТШ 1924 року Макс Планк писав: „Я розцінюю це обрання як особисту відзнаку і ... з гордістю буду почувати себе надалі членом цієї поважної організації ... хочу принагідно висловити мої щирі побажання подальшого розвитку і процвітання вашого Товариства з нагоди 50-ліття утворення. Ви ж знаєте, що у нас в Німеччині саме українська культура викликає пошвавлене зацікавлення, а ваші політичні змагання користуються постійною симпатією.”

Помер Макс Планк 4 жовтня 1947 року в Геттінгені за шість місяців до свого 90-річчя. На його могильній плиті вибиті тільки ім'я, прізвище і числове значення сталої Планка.

„Його дослідження були одним з найсильніших імпульсів, що спрочинив поступ у науці. Його ідеї будуть важливими так довго, доки існуватиме фізика”, – писав Альберт Айнштейн про Макса Планка, якого вважав майже за святого.

(Читайте початок на стор. 26)

– за цикл робіт „Стимульована змінним електричним полем надпровідність та процеси проковзування в тонких плівках надпровідників, включаючи високотемпературні”:

Дмитренку Ігорю Михайловичу – академікові НАН України, завідувачеві відділу Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Дмитрієву Віталію Михайловичу – докторові фізико-математичних наук, завідувачеві відділу Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Галайку Володимир Петровичу – докторові фізико-математичних наук, головному науковому співробітникові Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Безуглому Євгену Васильовичу – докторові фізико-математичних наук, провідному науковому співробітникові Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Волоцькій Валентині Григорівні – кандидатіві фізико-математичних наук, старшому науковому співробітникові Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Золочевському Івану Васильовичу – кандидатіві фізико-математичних наук, старшому науковому співробітникові Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Сівакову Олександр Георгійовичу – кандидатіві фізико-математичних наук, старшому науковому співробітникові Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Христенку Євгенію Васильовичу – кандидатіві фізико-математичних наук, старшому науковому співробітникові Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б. І. Веркіна НАН України,

Чурілову Георгію Евстафійовичу – кандидатіві фізико-математичних наук (посмертно);

– за підручник „Квантова механіка”. – Л.: Львівський державний університет імені Івана Франка, 1998:

Вакарчуку Івану Олександровичу – докторові фізико-математичних наук, ректорові Львівського національного університету імені Івана Франка.



Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова

80 років



15 липня 2000 року Національному педагогічному університетові ім. М. П. Драгоманова виповнилося 80 років. 15 жовтня того ж року цю визначну подію багатотисячний колектив університету відзначав у палаці „Україна”. Своє вітання драгоманівцям надіслав Президент України Леонід Кучма. Міністр освіти і науки України Василь Кремень особисто висловив найкращі побажання ювілярам. Отримали привітання ювіляри від Верховної Ради України, Федерації професійних спілок, Київської міськдержадміністрації, наукових та освітянських колективів з України та за її меж.

Історія Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова – це частина історії становлення і розвитку вищої педагогічної школи України. 15 липня 1920 року Управління вищих шкіл Києва ухвалило постанову створити з історико-філологічного факультету Київського університету св. Володимира та Вищих жіночих курсів Київський інститут народної освіти імені М. П. Драгоманова. Того ж року до інституту приєднали народний університет, створений на основі Політехнікуму, географічного, фребелівського

та вчительського інститутів, а також приватних жіночих і педагогічних курсів, які були на той час у Києві.

1930 року було реорганізовано Київський інститут народної освіти. На базі факультету професійної освіти утворилися два самостійних інститути – педагогічний професійної освіти і фізико-хіміко-математичний. 1933 року вони ввійшли до складу Київського державного університету, а на основі факультету соціального виховання було створено Київський інститут соціального виховання. Того ж року на його базі виник Київський педагогічний інститут.

17 вересня 1991 року рішенням уряду України інституту було повернуто ім'я М. П. Драгоманова. 13 серпня 1993 року Київський педагогічний інститут реорганізовано в Український педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова.

11 липня 1997 року, враховуючи значний внесок Українського педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова у розвиток вищої освіти та педагогічної науки, заслуги у підготовці висококваліфікованих кадрів, а також зважаючи на загальнодержавне і міжнародне визнання резуль-



татів його діяльності, указом президента України Леоніда Кучми університетові надано статус національного.

З історією університету пов'язані імена відомих учених М. Грушевського, О. Оглобліна, М. Кравчука, В. Букресєва, Г. Де Метца, С. Єфремова, М. Зерова, П. Пилиповича, А. Кримського, О. Астряба, Г. Костюка, С. Чавдарова, Д. Ніколенка, Т. Бугайко, П. Волинського, І. Пільгука, І. Шиманського, О. Мазуркевича та ін.

Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова очолює дійсний член Академії педагогічних наук України професор Микола Шкіль. Нині в університеті працюють, навчають і виховують студентів 16 академіків і член-кореспондентів, 77 докторів наук та професорів, понад 400 кандидатів наук, доцентів. За результатами експертного опитування-рейтингу Міжнародної кадрової академії європейської мережі національних інформаційних центрів з академічного виз-



Ректор Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова, дійсний член АПН України, заслужений діяч науки і техніки, доктор фізико-математичних наук, лауреат Державної премії, професор Микола Шкіль

нання та мобільності 1996 року університет отримав сертифікат кращого педагогічного навчального закладу України.

В основу програмної концепції становлення педагогічного університету як національного покладено багатоступеневість освітньої та професійної підготовки, фундаментальність знань, оновлення змісту освіти, від якого залежить формування світогляду майбутнього учителя.

„Третє десятиріччя очолюю цей унікальний для держави рідний і дорогий багатьом педагогам вищий навчальний заклад і спостерігаю, як учорашні студенти стають учителями-новаторами, відомими вченими, організаторами освіти. Мене це щиро радує. Ми присвятили своє життя дуже благородній справі і виконуємо свою місію з честю, аби наша нація була однією з найосвіченіших, наймудріших, найкультурніших. Ми прагнемо, аби майбутнє покоління українців наставляли на праведний шлях добрі, щирі люди з гарячими серцями, з чистими помислами.”

(М. Шкіль)

Сьогодні Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова – це провідний навчально-науковий комплекс країни в системі підготовки педагогічних і наукових кадрів. 14 тисяч студентів навчаються на 12 факультетах – фізико-математичному, природничо-географічному, педагогічно-індустріальному, української філології, іноземної філології, історичному, соціально-гуманітарному, педагогічному, дефектологічному, музично-педагогічному тощо.

Одним із засобів підготовки майбутніх учителів є широке залучення до науково-дослідної і творчої роботи студентської молоді. У 70 наукових гуртках і 117 проблемних групах працюють сьогодні понад 3 тисячі студентів. Багато з них стали лауреатами всеукраїнських конкурсів на кращу студентську роботу, переможцями всеукраїнських олімпіад з навчальних дисциплін. Щорічно в різноманітних виданнях публікується майже 100 наукових праць студентів.

При університеті працюють також Український колеж, гімназія, фізико-математичний лицей, гуманітарний інститут у Ялті, філія заочного відділення в Євпаторії, Українсько-американський гуманітарний інститут „Вісконсінський міжнародний університет (США) в Україні”. Створено єдиний поки що в Україні факультет профорієн-



Завідувач кафедри загальної фізики, член-кореспондент АПН України, професор М. І. Шут (у центрі) з професором Ю. А. Пасічником (ліворуч) та доцентом А. В. Касперським (праворуч)

тації та післядипломової освіти. Тепер освітяни мають унікальну змогу одержати другу вищу освіту і нову вчительську кваліфікацію.

Підготовка вчителів з природничих наук, зокрема фізики, в Університеті здійснюється від дня його заснування – спочатку на шкільному факультеті, пізніше на факультеті соціального виховання, тепер – на фізико-математичному факультеті. Як структурний підрозділ педагогічного інституту фізико-математичний факультет був створений на початку 1934–1935 навчального року.

На базі фізичного кабінету інституту народної освіти 1932 року була створена кафедра фізики. Завідувачем кафедри був призначений відомий учений у галузі експериментальних досліджень електромагнетних явищ проф. Г. Г. Де Метц (1861–1947). У передвоєнні роки на кафедрі працювали доценти О. К. Бабенко, І. С. Кухтенко, М. Ф. Казанський. Теоретичну механіку студентам-фізикам викладав доц. С. Ф. Фещенко.

У повоєнні роки фахову підготовку вчителів фізики здійснювала кафедра фізики, якою керували професори Г. Г. Де Метц, О. К. Бабенко, М. Ф. Казанський, доцент В. К. Мітюрьов.

1953 року з кафедри фізики виділилась кафедра методики викладання фізики, а 1983 – кафедра загальної фізики, кафедра експериментальної і теоретичної фізики та астрономії.

1977 року на фізико-математичному факультеті відкрито спеціальність фізика та астрономія, 1995 року – фізика та інформатика.

1995 року в університеті розпочато ступеневу підготовку вчителів. 1999 року вперше були випущені бакалаври математики і бакалаври фізики – вчителі основної школи. З 1998–1999 навчального року здійснюється підготовка магістрів математики і магістрів фізики для викладання математики або фізики у класах і школах з поглибленим вивченням цих предметів та для викладацької діяльності у вищих навчальних закладах.

Учені-фізики університету проводять наукові дослідження у галузі теплофізики та молекулярної фізики дисперсних та полімерних матеріалів, оптики поверхні, дослідження складних напівпровідникових сполук, вивчається вплив радіаційних дефектів на фізичні властивості кристалів. За цими науковими напрямками в аспірантурі університету проводиться підготовка вчених.

Особливо велику увагу фізики університету приділяють вдосконаленню навчальних програм, створенню посібників та підручників, розробленні системи навчального фізичного експерименту, інших дидактичних засобів та посібників для формування практичних умінь і навичок учнів та студентів.

Свідченням вагомості науково-методичних здобутків викладачів факультету в галузі вищої освіти стали науково-практичні конференції, які



Декан фізико-математичного факультету, завідувач кафедри експериментальної і теоретичної фізики та астрономії, доцент Г. П. Грищенко



проводяться в університеті. 1992 року в університеті започатковано проведення Всеукраїнських науково-практичних конференцій з проблеми „Фундаментальна та професійна підготовка вчителів в умовах ступеневої освіти”. Понад 25 років працює Всеукраїнський семінар „Актуальні питання навчання фізики в середній і вищій школі”, на якому проходять апробації науково-методичні дослідження з фізики.

Гордістю факультету є його випускники – заслужені вчителі України: К.Т. Шкіль, М. М. Коміренко, А. І. Шенгур, І. П. Сторож, Є. В. Коршак, Т. Д. Драч, В. І. Мороз, М. С. Якір.

Університет підтримує тісні наукові зв'язки з вищими навчальними закладами і науковими установами України та світу (США, Канади, Франції, Німеччини, Польщі, Словаччини, Китаю, Болгарії, Росії тощо).

Редакція журналу „Світ фізики” вітає колектив викладачів і студентів Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова з ювілеєм. Зичимо Вам, дорогі колеги, наукових звершень, творчих здобутків на ниві науки, освіти та виховання майбутніх педагогів.



Під час зустрічі в ліцеї в с. Добриводи

Зустрічі з сільськими школярами

22 жовтня 2000 року відбулася зустріч редакції журналу „Світ фізики” зі школярами ліцею в с. Добриводи на Тернопільщині – батьківщині Олександра Смакули. Перед школярами виступили професор Ярослав Довгий, заступники головного редактора журналу Олександр Гальчинський та Галина Шопя, представники Тернопільського технічного університету ім. І. Пулюя професор Леонід Дідух, виконавчий директор Фонду О. Смакули Василь Липовецький та інші.

Учасники зустрічі побували на місці, де стояла хата, в якій народився О. Смакула, на могилі батьків ученого та біля пам'ятника, який нещодавно був відкритий у селі Добриводи (10 вересня 2000 року).

Видавництво „Свросвіт” подарувало бібліотеці комплекти журналів та іншу свою наукову та навчальну літературу.

Детальніше про перші успіхи та турботи сільського ліцею на Тернопільщині, який ще так потребує уваги й допомоги, читайте в наступних числах нашого журналу.



*Директор ліцею в с. Добриводи
Каплун Любов Іванівна*



Лауреатами Нобелівської премії з фізики 2000 року стали фізики Жорес Алфьоров (Росія) і Герберт Кремер (Herbert Kroemer) (США) за розвиток напівпровідникових гетероструктур, які використовуються у високошвидкісній оптоелектроніці (половина премії) та Джек Кілбі (Jack St. Clair Kilby) (США) за дослідження в галузі інтегральних мікросхем.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАУРЕАТИ

1993

Гравітаційне випромінювання...

Нобелівська премія 1993 р. присуджена Джо-зефові Тейлору (A. Joseph H. Taylor, Jr.) і Расселові Галсу (Russell Hulse), співробітникам Принстонського університету в США за відкриття нового типу пульсарів і нових можливостей вивчення гравітації. Принстон відомий, зокрема, тим, що в ньому понад 20 років до самої смерті (1955) жив і працював Альберт Айнштайн. Дух Айнштайна позначився і на самому доробку цих учених, які нагороджені Нобелівською премією: „за відкриття пульсара нового типу, відкриття, що дало нові можливості дослідження гравітації.” Якраз гравітація в розумінні її теоретичного опису і практичних передбачень, які сформулював А. Айнштайн у загальній теорії відносності, є центральною у відкритті Дж. Тейлора і Р. Галса, яке вони зробили 1974 р.

Перший пульсар відкрив англієць Ентоні Гевіч із співробітниками 1967 р. Це була одна з найважливіших подій у фізиці та астрофізиці XX сторіччя (до речі, відзначена Нобелівською премією 1974 р.). Як джерело імпульсного електромагнетного випромінювання в радіодіапазоні на частоті 72,7 МГц цей перший пульсар з позначкою PSR 1919+21 (літери PSR є скороченням англійських слів Pulsating Sources of Radioemission, цифри вказують координати пульсара на небі) характеризувався на той час стабільним періодом пульсації 1,3370113 с, що за точністю сумірно з атомним еталоном часу. На рис. 1 зображена структура сигналу цього пульсара, типова в основних рисах і для пульсарів, відкритих пізніше. З часом періоди пульсацій повільно зростають, за порядком величини на 10^{-8} с за добу.



Рассел Галс



Джозеф Тейлор

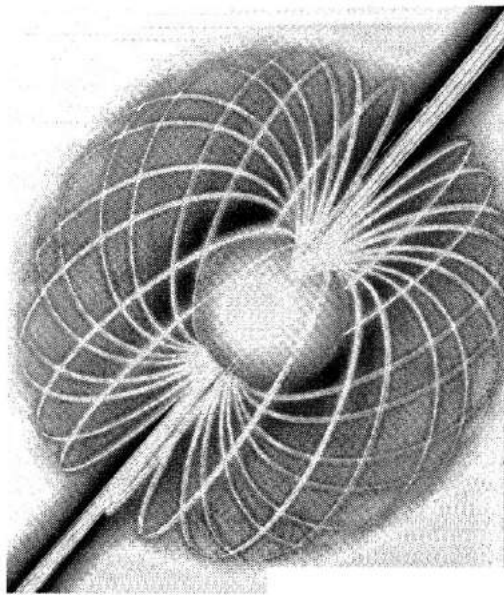
Випромінювання електромагнетних хвиль пульсарами пояснюється тим, що вони є нейтронними зорями, які швидко обертаються навколо своєї осі. Нейтронні зорі утворюються внаслідок стискання звичайних зір, маса яких перевищує масу Сонця приблизно в 1,2 раза, до радіуса приблизно 10 км. Середня густина такої нейтронної зорі досягає 10^{17} кг/м³ і вона складається переважно з нейтронів з невеликою домішкою електронів, протонів і ядер важких елементів. Нейтронна зоря має тверду кору та ядро, між якими є рідка оболонка (так звана фермі-рідина), якій властиві такі цікаві фізичні явища, як надплинність і надпровідність. Інтенсивне радіовипромінювання нейтронної зорі зумовлене рухом електронів у сильному магнетному полі зорі (приблизно 10^8 Тл).

Влітку 1974 року Дж. Тейлор і Р. Галс (відповідно професор та аспірант Массачусетського університету) проводили систематичне вивчення пульсарів та пошук нових на 300-метровому радіотелескопі в Аресібо (Пуерто-Ріко). Вони зареєстрували 50 пульсарів, з них 40 – вперше. Періоди пульсацій цих пульсарів вони вимірювали з точністю близько 1 мкс. Один з пульсарів, PSR 1913+16, поведився досить дивно: окрім того, що його період 59 мкс виявився найкоротшим із відомих (за винятком ще одного пульсара у Крабоподібній туманності). Крім того вони встановили, що період його пульсацій суттєво змінювався з часом – до 80 мкс упродовж 5 хв. Така поведінка зовсім не властива іншим пульсарам, і Дж. Тейлор з Р. Галсом прийшли до висновку, що вона є наслід-



ком ефекту Доплера при русі пульсара в системі подвійної зорі. Період обертання пульсара навколо невидимого спільника становить майже 8 год, а швидкість пульсара 300 км/с (зазначмо, що ця швидкість у 10 разів більша від швидкості обертання Землі навколо Сонця). Компаньйон пульсара також є компактним об'єктом таким, як білий карлик, або нейтронна зоря, або чорна діра. А віддаль між пульсаром і його спільником становить лише декілька віддалей від Землі до Місяця. Відкриття пульсара PSR 1913+16 дало новий стимул науковцям, які займалися загальною теорією відносності. Фізики отримали можливість, про які вони могли лише мріяти ще від часу формулювання і осмислення перших практичних передбачень загальної теорії відносності. Справді, за таких природних умов, що існують на Землі чи навіть у Сонячній системі, ефекти, передбачувані загальною теорією відносності на фоні Ньютонавської теорії тяжіння, є мізерними. Щоб ці ефекти стали помітними, потрібні потужні гравітаційні поля і високі швидкості рухомих мас.

Цю теорію іноді називали „Колосом на глиняних ногах”, маючи на увазі ту велику диспропорцію між масштабністю й стрункністю теоретичних побудов та кількістю тих експериментальних чи спостережувальних даних, які б підтверджували



Схематичний вигляд пульсара, в якому рух електронів у сильному магнетному полі зумовлює вузький конус електромагнетного випромінювання

теорію. По суті, до 1960-их років можна було говорити лише про два факти, що підтверджували теорію – додаткове зміщення перигелію Меркурія, яке до цього не знаходило свого пояснення в рамках Ньютонівської теорії тяжіння, і відхилення світлового променя в гравітаційному полі Сонця, яке виміряв англійський фізик Артур Еддінгтон із співробітниками під час повного сонячного затемнення 29 травня 1919 року. На 1960-ті роки припадають експерименти, що узгоджуються з передбаченнями загальної теорії відносності – стосовно зміни частоти електромагнетного випромінювання при його поширенні між точками з різним гравітаційним потенціалом і ефект зміни часу поширення радіосигналу під впливом гравітаційного поля. Напрошується порівняння з іншою фундаментальною фізичною теорією, що також виникла в ХХ сторіччі – квантовою механікою, яка, хоч і приблизно на 10 років „молодша” від Айнштайнівської теорії гравітації, знайшла своє підтвердження у величезній кількості експериментів і практичних застосувань. Варто наголосити на ще одній обставині: з часом поряд із загальною теорією відносності, яка не мала надійного експериментального підґрунтя, виникли й інші, так звані альтернативні теорії тяжіння, які без особливих зусиль, через підбір відповідних вільних параметрів, могли пояснити ці явища. Тому зрозуміло, наскільки бажаним був (і є) вихід на нові експериментальні факти.

Уже в грудні 1974 р. Дж. Тейлор виміряв зміщення периастра (точки орбіти, яка відповідає найменшій віддалі між зорями) пульсара PSR 1913+16, яке дорівнювало $4,0 \pm 1,5$ кутовим градусам за рік. Урахування загальнорелятивістичних членів в оцінці величини зміщення перигелію Меркурія становить лише 43 кутові секунди за 100 років.

У подвійній зоряній системі, відкритій Дж.Тейлором і Р. Галсом, виявився ще один яскравий ефект, пов'язаний з загальною теорією відносності – гравітаційні хвилі. Існування таких хвиль є одним з найцікавіших передбачень теорії. Одним з прикладів виникнення гравітаційної хвилі, розрахованим ще 1959 р., є плоска хвиля, яка поширюється разом з окремою масою (шварцшільдівським джерелом) при її рівномірному та прямолінійному русі відносно деякого спостерігача зі швидкістю, близькою до швидкості світла (подібно, як аналогічна електромагнетна хвиля



виникає при швидкому русі електричного заряду). Якщо ж маси рухаються з прискоренням, то змінне гравітаційне поле має здатність „відриватися” від свого джерела, виникає гравітаційне випромінювання, яке подібно до електромагнетного випромінювання поширюється зі швидкістю світла. Гравітаційне випромінювання, на відміну від електромагнетного, має не дипольний, а квадрупольний характер. Через малу інтенсивність гравітаційне випромінювання у прямих експериментах ще не відкрите, хоч уже майже 40 років багато науковців у різних країнах світу працюють над підвищенням чутливості відповідних гравітаційних антен. Подвійний пульсар є досконалою фізичною лабораторією для підтвердження висновків загальної теорії відносності Айнштейна. Першим непрямым свідченням існування гравітаційного випромінювання став саме пульсар PSR 1913+16. Згідно із загальною теорією відносності період орбітального руху в подвійній зоряній системі мусить зменшуватися внаслідок випро-

мінювання гравітаційних хвиль. Дж. Тейлор і Р. Галс показали, що подвійні зорі пульсара зближаються, їхня швидкість орбітального руху зростає, подібно як під час піруету, що виконує фігурист на льоді. Розрахунки відносного зменшення періоду для цієї системи за один оберт дають $2,4 \cdot 10^{-12}$. Це узгоджується з спостереженнями. Отже, вперше зустрічаємось з явищем, зумовленим гравітаційними хвилями.

Відкриття Дж. Тейлором та Р. Галсом гравітаційного випромінювання в системі пульсара PSR 1913+16 можна порівняти з дослідом Герца, який підтвердив існування електромагнетних хвиль, передбачених Максвеллом. Щоправда, змінювати умови експерименту, як у досліді Герца, неможливо.

Роман ПЛЯЦКО,

*канд. фіз.-мат. наук,
ст. наук. співробітник Інституту
прикладних проблем механіки і
математики ім. Я.С.Підстригача
НАН України*

1967 року Джоселін Белл (Jocelin Bell), докторантка Кембриджського університету, під час роботи у Мюллардській Радіоастрономічній Лабораторії, відкрила перший пульсар. Проводячи щоденний аналіз тридцятиметрової паперової стрічки з записами сигналів радіоджерел, вона зіткнулася з чимось новим, яке обізвала „сміттям”. Її професор, Ентоні Гевіч (Anthoni Hewich) долучився до спостережень таємничого сигналу, але впродовж тривалого часу сигналу не було, через місяць він з’явився знову. Отримані імпульси нагадували сигнали, генеровані людиною, й надходили з дивною регулярністю, з періодом одна і одна третя секунди. Виглядало це так, ніби якась цивілізація на віддалі 200 мільйонів світлових років від Землі пробувала налагодити контакт. У лютому 1968 р. Белл та Гевіч оголосили про своє відкриття, не розуміючи повністю його природи. Вони говорили про сигнали „LGM – little green man” („малі зелені люди”). Однак англійський космолог Томас Голд одразу ж пояснив, що невідомим джерелом радіовипромінювання є нейтронна зоря, що швидко обертається. Згодом таку зорю назвали „пульсар”.

Нині відомо понад 600 пульсарів. Випромінюють вони не тільки радіохвилі, а й інші види випромінювань. Наприклад, пульсар у пиловій туманності Краба випромінює X- та γ -промені. Деякі з них обертаються неймовірно швидко; найшвидший з відомих є пульсар PSR1937+21, який „миготить” 600 разів за секунду. Пульсари – найкращі годинники. Нерегулярності у їхньому блиску становлять 60 трильйонних секунди на сторіччя. Точність пульсарів переважає навіть атомні годинники.

Джоселін Белл (Jocelin Bell) народилася 1931 року в м. Белфасті (Північна Ірландія). Ще в дитинстві вона захопилася астрономією, читала багато книжок, які приносили її батько з бібліотеки. В університеті в Глазго вивчала фізику, де була однією дівчиною з 50 студентів. Дисертацію з радіоастрономії захистила в Кембриджі. Після відкриття пульсару, вивчала їх ще деякий час, пізніше зацікавилася X- та γ -астрономією. Нині професор фізики Відкритого університету, найбільшого в Об’єднаному Королівстві.

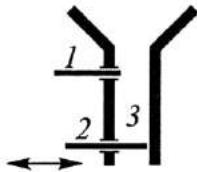
Вона і надалі стежить за дослідженнями пульсарів. Як сама зазначає: „Пульсари – це цікава тема. Вони були відкриті понад 40 років тому. Я схильна допустити, що така стара тема може бути не цікавою. Однак пульсари всіх нас захоплюють”. Незважаючи на те, що Дж. Белл безпосередньо була причетною до відкриття пульсарів, Нобелівської премії не отримала.



ЗАДАЧІ ПЕРШОГО ЕТАПУ ІІІ ВІДКРИТОГО ВСЕУКРАЇНСЬКОГО ТУРНІРУ ЮНИХ ВІНАХІДНИКІВ І РАЦІОНАЛІЗАТОРІВ 2000 р.

1. Гідробіологи визначають прозорість води суб'єктивним методом: визначають на якій глибині ще видно пластинку драги (приладу для відбору проб з дна водойми), яку опускають у воду на мотузці. Запропонуйте спосіб або пристрій для об'єктивного визначення прозорості води в польових (експедиційних) умовах.

2. Для розфасування невеликих сталевих кульок використовують механічні дозатори, які складаються з трубки і встановлених у ній засувок (див. рис.). При відкритій (витагнутій) засувці 1 і закритій засувці 2 порожнина 3 дозатора заповнюється кульками. Після відкриття засувки 2 кульки висипаються в тару. Далі процес повторюється.



Недоліками механічних засувок є те, що вони недовговічні і мають тривалий час спрацьовування (відкриття-закриття). Запропонуйте, як можна уникнути зазначених недоліків.

3. Під час приєднання побутових споживачів енергії до електромережі за допомогою системи „вилка-розетка” виникають іскрові розряди, що може призвести до небажаних наслідків, особливо в приміщеннях, де може витікати газ. Запропонуйте пристрій для приєднання споживачів електроенергії до електромережі, який би був позбавлений цього недоліку.

4. По конвеєру рухаються одна за одною металеві деталі, які схожі на канцелярські кнопки: круглі пластинки зі стрижнями заввишки 10–15 мм посередині. Одні з цих стрижнів загострені, а інші – ні. Запропонуйте, як можна автоматично відділяти деталі з загостреними стрижнями від інших.

5. У трубопроводі, яким підводиться водяна пара до технологічного обладнання, утворився отвір, через який перегріта пара під великим тиском вивірається назовні. Цей отвір потрібно залатати (закрити, заварити), але цьому заважає струмінь пари. Перекрити трубопровід не можна. Запропонуйте, як можна залатати трубу.

6. Пульпу (пісок з водою) переміщують за допомогою трубопроводу. Внутрішня поверхня труби зазнає досить великого тертя, що швидко виводить її з ладу. Як можна продовжити термін експлуатації труби?

7. Феромагнітний порошок потрібно контактено приварити до іншої деталі. Але із зони приварювання він виштовхується магнетним полем, яке виникає при проходженні досить великого електричного струму (навколо провідників та самої дуги). Як можна уникнути такого небажаного ефекту?

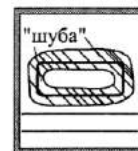
8. Відомо, що в темну пору доби в світлі фар зустрічних автомобілів стають майже невидимими для водія перешкоди на шляху. Запропонуйте, як можна допомогти водієві помічати на шляху руху автомобіля перешкоди. Розгляньте випадки:

а) перешкоди нерухомі відносно землі або ж мають малу швидкість порівняно зі швидкістю автомобіля (пішоходи, загорожі, ями тощо);

б) перешкоди рухаються відносно землі (автомобілі, велосипедисти тощо).

9. Під час довготривалої експлуатації деяких деталей, наприклад, шатунів двигунів внутрішнього згорання, в них з'являються невеличкі тріщини (втомлюваність металів). Відомо, що великі тріщини можна виявити за допомогою ультразвукової дефектоскопії, але як бути з мікротріщинами? Запропонуйте власний спосіб їх виявлення.

10. На розморожування морозильної камери (зняття льодяної „шуби” побутового холодильника (див. рис.)) витрачається багато часу. Цей процес іноді прискорюють, вмістивши всередині „мо-



розилки” посудину з гарячою водою або змоченої такою ж водою тканину, але розморожування все одно триває досить довго. Запропонуйте спосіб або прилад який дасть змогу суттєво прискорити розморожування холодильника.

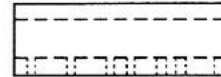
11. Усім добре відомі медичні банки, які ставлять на тіло людини, використовуючи маленький спиртовий смолоскип. Відривання банок від тіла людини супроводжується больовим відчуттям. Які зміни треба внести в конструкцію банки, щоб зняти її з тіла людини безболісно?

12. Для підтримування в кімнаті певної температури користуються різними приладами з термореле, які мають деякі недоліки. Чи можна досягти стабілізації температури яким-небудь іншим способом? Потрібно запропонувати стабілізатор температури відмінний від релейного.

13. Після виготовлення або ремонту холодильників потрібно перевіряти, наскільки щільно їх дверцята прилягають до корпусу. Запропонуйте спосіб контролю цієї „щільності”.

14. Відомі електромагнетні крани, які можуть надійно утримувати й транспортувати феромагнетні деталі. А чи можна зробити те ж саме з деталями, які виготовлені не з феромагнетика? Що для цього потрібно зробити додатково? Розгляньте випадок для одночасного піднімання великої кількості дрібних деталей, наприклад, алюмінієвих або латунних гвинтів, гайок, скобок тощо.

15. У стінці шланга, виготовленого з еластичної гуми, потрібно зробити отвори правильної форми (див. рис.). Коли б такі отвори потрібно було зробити в металевій трубі, то ніяких проблем не виникало б – їх просто можна було б просвердлити, але ж як бути у цьому випадку?

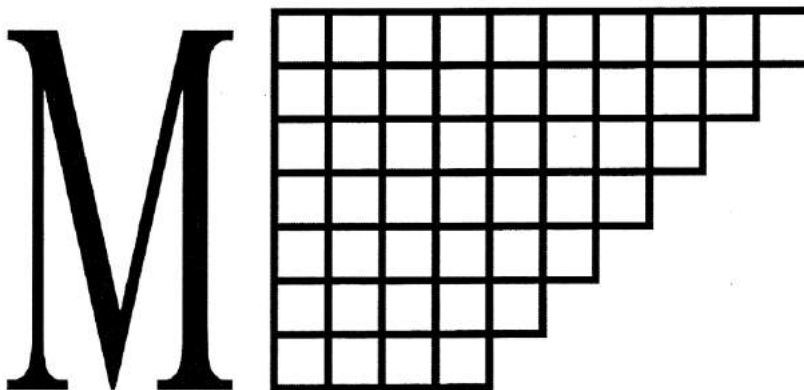


16. Навколо антени радіотелескопа потрібно встановити блискавковідводи. Але, як відомо, блискавковідводи – провідники, які створюють радіотінь, що негативно впливає на роботу радіотелескопа. Запропонуйте вихід із такої ситуації.

Задачі запропонували:

**А. Давиденко (м. Чернігів),
В. Колебошин (м. Одеса),
Б. Кременський (м. Київ)**

У незаповнені клітинки впишіть прізвища вчених, які розпочинаються літерою **М**



1. Радянський фізик, який разом з Папалексі експериментально довів, що носіями струму в металах є електрони. 2. Американський вчений, який 1881 року здійснив дослід з вивлення „ефірного вітру”. 3. Російський вчений, який узагальнив рівняння Клапейрона. 4. Англійський фізик, який теоретично передбачив існування електромагнетних хвиль. 5. Італійський інженер, який 1896 року подав патентну заявку на безпровідний телеграф. 6. Відомий вчений Берлінського університету, в якого продовжував свою освіту Столетов. 7. Німецький вчений, який в своєму житті зробив одне відкриття: він першим обґрунтував закон збереження і перетворення енергії.

Із книги Горбань М. М. На уроці та після...



На екзаменах з фізики зустрічаються задачі, для розв'язання яких використовують закон збереження механічної енергії. Пропонуємо Читачам ознайомитись з деякими прикладами розв'язування таких задач.

МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

У механіці робота постійної сили F на шляху S дорівнює добуткові модуля сили і переміщення, помножених на косинус кута α між векторами сили і переміщення

$$A = FS \cos \alpha.$$

Це фізичне поняття не завжди відповідає буденному розумінню роботи. Наприклад, атлет, що утримує вантаж на піднятих руках чи вантажник, який несе важкий вантаж, механічної роботи не виконують (Поясніть чому?).

Коли сила, що діє на тіло, не стала (змінюється її модуль або напрям), роботу такої сили можна знайти так. Розбиймо все переміщення тіла на такі маленькі ділянки S_1, S_2, \dots, S_n , щоб на кожній з них силу можна вважати постійною та рівною відповідно F_1, F_2, \dots, F_n . Знайдемо тепер роботу на кожній ділянці:

$$A_1 = F_1 S_1 \cos \alpha_1$$

$$A_2 = F_2 S_2 \cos \alpha_2 \dots$$

$$A_n = F_n S_n \cos \alpha_n,$$

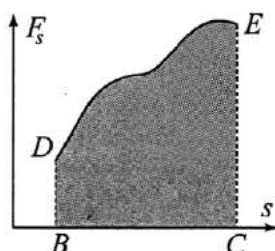
а повна робота на шляху S дорівнюватиме сумі робіт на окремих ділянках:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n.$$

Тоді, коли відомо як змінюється від точки до точки проекція сили на напрям переміщення

$$F_s = F \cos \alpha,$$

роботу можна знайти графічно (див. рис.). Повна робота на ділянці BC дорівнює площі фігури $BDEC$.



Задача 1. Яка робота здійснюється, піднімаючи однорідний гладкий ланцюжок на гладкий горизонтальний стіл? Початкове положення ланцюжка зображено на рис. 1, а, його довжина дорівнює 6 м , маса – 3 кг .

У початковий момент на ланцюжок діє сила тяжіння mg і щоб його утримати, потрібна сила $F_0 = mg$. З підняттям ланцюжка на стіл сила, яку потрібно прикласти для його підняття, зменшуватиметься.

Позначмо довжину частини ланцюжка, що вже лежить на столі через x . (рис. 1, б). У цей момент до ланцюжка слід прикласти силу

$$F(x) = mg - \frac{mg}{l}x.$$

Побудуймо графік залежності $F(x)$ (рис. 1, в). Тоді робота, яку здійснює ця сила при рівномірному піднятті ланцюжка, дорівнюватиме площі заштрихованого трикутника:

$$A = \frac{1}{2} F_0 l = \frac{1}{2} mgl = 90 \text{ Дж}.$$

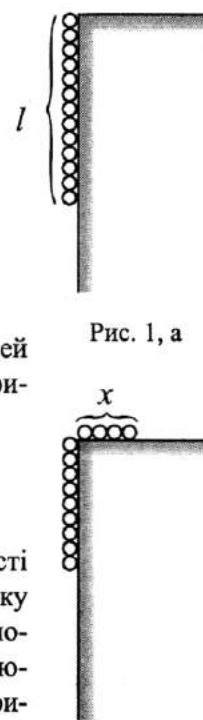


Рис. 1, а

Рис. 1, б

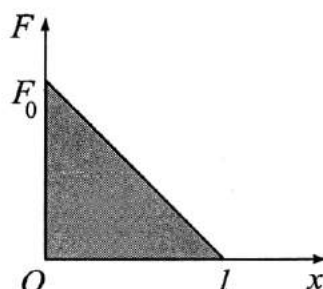


Рис. 1, в



Зауважмо, що ця робота дорівнює роботі для того, щоб підняти центр ваги ланцюжка. В початковий момент центр ваги знаходився на відстані $l/2$ нижче від поверхні стола, у кінцевий момент – на рівні стола. Потрібна робота

$$A = mg(l/2).$$

Задача 2. Доточок В і С, що знаходяться на одній горизонталі, підвішені однорідний ланцюжок довжиною $2l$ і система з двох стрижнів, з'єднаних шарніром, кожний з яких має довжину l (рис. 1, а). Маса ланцюжка дорівнює масі обох стрижнів. Центр мас якого тіла – ланцюжка чи системи стрижнів – розміщений нижче?

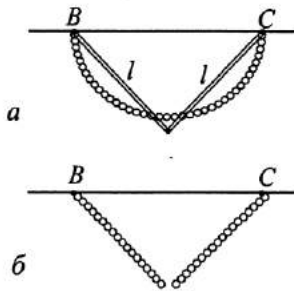


Рис. 1

Подіймо на ланцюжок так, щоб його розміщення збіглося зі стрижнями. (Це можливо, адже вони мають однакову довжину (рис. 1, б)). Очевидно, що в цьому випадку центри мас ланцюжка і стрижнів теж збігатимуться. Оскільки для того, щоб перемістити ланцюжок у нове розміщення, потрібно було здійснити деяку роботу, а це дає змогу стверджувати, що нове розміщення центра мас знаходиться вище.

Отже, центр мас ланцюжка при його початковому розміщенні був нижче, ніж центр мас системи стрижнів.

Задача 3. Для відкачування води з підвалу застували насос потужністю 330 Вт. Ширина підвалу 6 м, довжина 24 м, висота 4 м. Спочатку рівень води в підвалі знаходився на рівні землі. За який час можна відкачати воду? Вважайте, що в процесі відкачування потужність насоса не змінюється.

Знайдімо роботу, яку слід виконати, щоб відкачати воду з підвалу:

$$A = \rho Vgh,$$

де V – об'єм підвалу, h – висота, на яку піднімається центр мас об'єму води.

Знайдімо час відкачування води:

$$t = \frac{A}{N} = \frac{\rho Vgh}{N} = 5 \text{ год. } 20 \text{ хв.}$$

Задача 4. Спочатку пружину, що має жорсткість k і довжину l_0 розтягують до довжини l . Потім цю пружину розрізають на дві рівні частини й беруть одну з них та розтягують до довжини l . Знайдіть роботу, яку виконали першого та другого разу.

За законом Гука у розтягнутій пружині на величину x з'являється сила пружності $F_{\text{пр}} = -kx$ (знак „-“ вказує на те, що сила пружності намагається повернути пружину в початковий стан). Для того, щоб розтягнути пружину потрібно прикласти силу $F(x)$, що дорівнює силі пружності, але протилежного напрямку

$$F(x) = -F_{\text{пр}} = kx.$$

Побудуємо графік залежності $F(x)$ (рис. 1, а) і знайдемо роботу, яку виконає зовнішня сила, розтягуючи недеформовану пружину на величину x :

$$A = \frac{1}{2}(kx)x = \frac{kx^2}{2}$$

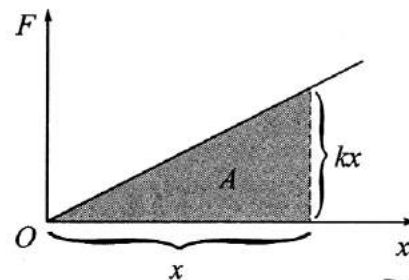


Рис. 1, а

У випадку, якщо пружина вже була розтягнена на величину x_1 , а тепер її треба розтягнути до x_2 , робота зовнішньої сили дорівнюватиме (рис. 1, б):

$$A = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}$$

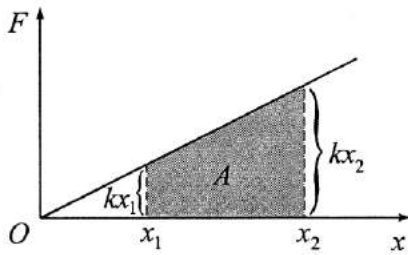


Рис. 1, б

Повернімося до нашої задачі. Спочатку для розтягу цілої пружини жорсткості k з недеформованого стану до довжини l потрібно виконати роботу

$$A_2 = \frac{(2k)x_2^2}{2} = \frac{(2k)(l-l_0/2)^2}{2} = k(l-l_0/2)^2.$$

Іншого разу до тієї ж довжини l розтягують лише половину пружини, тобто її видовження

$$x_2 = l - l_0/2.$$

Крім того, жорсткість половини пружини не така як жорсткість цілої пружини: вона вдвічі більша (покажіть це самостійно). Тому в іншому випадку слід виконати роботу:

$$A_2 = \frac{(2k)x_2^2}{2} = \frac{(2k)(l-l_0/2)^2}{2} = k(l-l_0/2)^2.$$

У механіці розглядають кінетичну енергію, зумовлену рухом та потенціальну енергію, зумовлену взаємним розміщенням тіл системи або частин одного й того ж тіла.

Кінетична енергія тіла масою m , що рухається зі швидкістю v дорівнює

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

Потенціальна енергія тіла, що знаходиться в однорідному полі тяжіння, на висоті h над нульовим рівнем дорівнює

$$E_p = mgh,$$

а потенціальна енергія пружно деформованого тіла:

$$E_p = \frac{kx^2}{2}.$$

Робота рівнодійної сили, що прикладена до тіла дорівнює зміні кінетичної енергії:

$$A = E_{\text{кін.}} - E_{\text{поч.}}$$

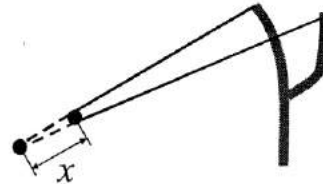
Доведімо це.

$$\begin{aligned} A = FS = maS &= \frac{m(v_{\text{кін.}}^2 - v_{\text{поч.}}^2)}{2} = \\ &= E_{\text{кін.}} - E_{\text{поч.}} \end{aligned}$$

Робота сил тяжіння або пружності дорівнює зміні потенціальної енергії взяті з протилежним знаком:

$$A = -(E_{\text{пот.2}} - E_{\text{пот.1}}).$$

Задача 5. З гумової катапульти (рогатка) викидають камінець масою m . Знайдіть максимальну швидкість камінця, якщо жорсткість гуми k і її відтягнули на відстань x (див. рис.).



Вважаймо, що гумова стрічка довга, тому на камінець діятимуть дві паралельні сили пружності гуми. При відтягуванні камінця на відстань x , розтяг гумової стрічки буде $2x$, а модуль сили пружності:

$$F = k(2x) = 2kx.$$

При поверненні гумової стрічки у вихідний недеформований стан, сила пружності, що діє на камінець, виконає роботу

$$A = 2 \frac{(2kx)x}{2} = 2kx^2.$$

Завдяки роботі сил пружності камінець набуде кінетичної енергії

$$E_{\text{кін.}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Отже,

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

Звідси

$$v = 2x \sqrt{\frac{k}{m}}.$$



Задача 6. Знайдіть, на яку висоту H підніметься стріла, випущена з лука вертикально вгору. Маса стріли $m = 20$ г, довжина тятиви $AB = 1$ м. Тятиву відтягують на 5 см. Її натяг постійний і дорівнює 250 Н.

Енергія, яку отримує стріла у час пострілу, дорівнює роботі сил, що діють на стрілу з боку тятиви. Ця сила дорівнює рівнодійній F сил натягу тятиви T (рис. 1). Якщо кут, утворений тятивою в точках A і B з лінією AB позначити α , то знайдемо, що

$$F = 2T \sin \alpha .$$

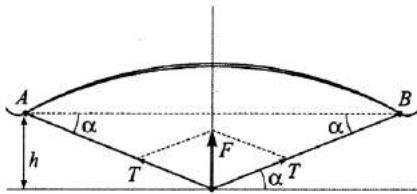


Рис. 1

Тобто сила, що діє на стрілу, залежить від того настільки відтягнута тятива. Оскільки тятиву відтягують на малу віддалю порівняно з її довжиною, то кут α малий, тобто $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$.

Тому

$$F = 2T\alpha .$$

Оскільки

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{AB/2} ,$$

де h – висота прогину тятиви, тому

$$F = 4T \frac{h}{AB} .$$

Оскільки, сила, що діє на стрілу, пропорційна h (рис. 2), то знайдемо роботу цієї сили графічно

$$A = 2T \frac{h_0^2}{AB} .$$

Таку енергію отримує стріла при пострілі. Вона має дорівнювати потенціальній енергії стріли у верхній точці підйому:

$$mgH = 2T \frac{h_0^2}{AB} .$$

Звідси

$$H = 2T \frac{h_0^2}{ABmg} \approx 5 \text{ м} .$$

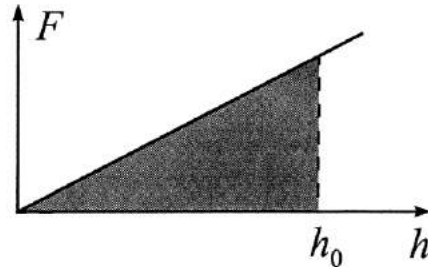


Рис. 1

Задача 7. На невагомій шарнірній конструкції підвішено вантаж масою m (див. рис.). Яка сила натягу нитки?

Умовно зменшіть довжину нитки на величину x , настільки малу, щоб зміною сили натягу нитки можна було б знехтувати. Тоді вантаж підніметься на висоту $2x$ (покажіть це самостійно).

Робота сили натягу нитки при цьому дорівнюватиме

$$A = T \cdot x ,$$

а потенціальна енергія вантажу в полі тяжіння Землі зміниться на

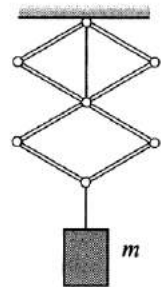
$$\Delta E_{\text{пот.}} = mg(2x) = 2mgx .$$

Отже,

$$T \cdot x = 2mgx .$$

Звідси

$$T = 2mg .$$



Енергія належить до тих небагатьох фізичних величин, для яких справедливі закони збереження. Зокрема, якщо система тіл замкнена і тіла взаємодіють одне з одним тільки силами притягання і пружності, повна механічна енергія системи (тобто сума кінетичної та потенціальної) залишається сталою. Дія ж сили тертя призводить до того, що частина механічної енергії переходить у внутрішню енергію системи. Але і в цьому випадку сума всіх видів енергії залишається сталою.



Задача 8. Хлопчик на ковзанах розганяється до швидкості v і викочується на гірку, покриту льодом. До якої висоти, рахуючи від основи гірки, він може піднятися, якщо коефіцієнт тертя μ , а кут нахилу гірки до горизонту α ?

У початковий момент хлопчик володіє кінетичною енергією $mv^2/2$, а в кінцевий момент – потенціальною енергією mgh (тут m – маса хлопчика, h – шукана висота підйому). Робота проти сили тертя призводить до зменшення повної механічної енергії:

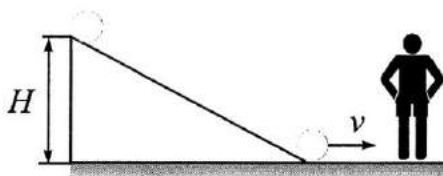
$$F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha .$$

$$\frac{mv^2}{2} - mgh = \mu mg \cos \alpha \frac{h}{\sin \alpha} .$$

Звідси знайдемо шукану висоту h :

$$h = \frac{v^2}{2g(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)} .$$

Задача 9. Камінь масою m зісковзує по гладкій гірці висотою H . Розгляньмо цей процес у двох різних інерційних системах відліку. З точки зору спостерігача у нерухомій системі потенціальна енергія каменя mgH переходить у кінетичну енергію $mv^2/2$, так що після зісковзування з гірки камінь має швидкість v (див. рис.). Спостерігач який знаходиться у системі відліку, що рухається зі швидкістю v у правий бік вважає, що камінь має потенціальну енергію mgH і кінетичну – $mv^2/2$, а насправді, немає ні тої ні іншої. Куди ж „пропала” енергія?



Одразу ж зауважмо, що закон збереження енергії виконується в обох випадках. Причина сформульованого парадоксу в тому, що міркування проводились для незамкненої системи одного каменя, а Земля, з якою камінь взаємодіє, не враховувалась. Виправмо цю помилку.

1. У нерухомій системі відліку (пов’язаної з центром мас системи камінь–Земля) у початковий момент Земля й камінь знаходяться у спокої і вся енергія дорівнює потенціальній енергії системи. У кінцевий момент камінь набуває швидкості \vec{v} , а Земля – \vec{u} , яку можемо знайти з закону збереження імпульсу:

$$mv - Mu = 0 ,$$

звідси

$$u = \frac{m}{M} v ,$$

де M – маса Землі.

Згідно з законом збереження енергії,

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \left(1 + \frac{m}{M} \right) .$$

Оскільки маса каменя набагато менша від маси Землі, величина m/M мала. Знехтуймо нею. Маємо:

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

що цілком відповідає умові задачі.

2. У рухомій системі відліку в початковий момент сумарна енергія дорівнює $mgH + mv^2/2 + Mv^2/2$, а в кінцевий момент – $Mu^2/2$. За законом збереження імпульсу:

$$mv + Mu - Mu = 0 ,$$

отримаємо:

$$u = v \left(1 + \frac{m}{M} \right)$$

та

$$\frac{Mu^2}{2} = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \left(2 + \frac{m}{M} \right) .$$

Тоді за законом збереження енергії

$$mgH + \frac{mv^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} =$$

$$= \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \left(2 + \frac{m}{M} \right) ,$$

або, нехтуючи величиною m/M порівняно з двійкою, отримаємо:

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

Ми отримали такий же результат, що і з точки зору нерухомого спостерігача!

НОВИНИ зі СВІТУ

...Співробітники лабораторії фірми Белл уже давно вивчають властивості фулеренів – сферичних шістдесятиатомних молекул вуглецю. Декілька років тому вони з'ясували, що якщо такі матеріали легувати атомами металів, то при низьких температурах вони стають надпровідниками. Бертрам Бетлог та його колеги показали, що і бездомішкові фулеренові кристали за деяких умов теж стають надпровідними. Такі кристали переходять у надпровідний стан при температурі 52 К, тоді як леговані фулерени переходять у надпровідний стан при нижчих температурах...

(Із журналу Nature)

Новий 1,8-метровий оптичний телескоп SETI (Search Extra Terrestrial Intelligence), який розроблено в Сан Хосе (SAN JOSE, Каліфорнія), почне пошуки повідомлень від чужинців у вигляді лазерних імпульсів вже на початку 2001 року. Аналогічний радіотелескоп SETI вже роками шукає позаземні цивілізації, але досі нічого не виявив. Деякі експерти вважають, що технологічно розвинуті цивілізації ймовірно надсилатимуть повідомлення у вигляді лазерних імпульсів, ніж у формі радіосигналів. Новий телескоп має шукати короткі світлові імпульси, скануючи усе північне небо впродовж кожної з 200 ясних ночей. Для цього використовуватиметься спеціальна камера з 1024-ма надшвидкими детекторами, які можуть реєструвати світлові спалахи коротші від 10^{-7} секунди.

Керівник проєкту, професор П. Горовіц (Paul Horowitz) з Гарвардського університету зазначає: „Використовуючи тільки земні технології 2001 року, ми уже могли б генерувати лазерні імпульси, які для віддалених цивілізацій будуть у 5000 раз яскравішими, ніж наше Сонце.” Іншими словами, міжзоряний лазерний зв'язок цілком реальний.

Пошук лазерних імпульсних сигналів вперше запропонував нобелівський лауреат Ч.Таунс (Charles Townes) з університету Берклі у Каліфорнії. Оптичні спостереження на SETI вже проводились, але новий телескоп буде набагато чутливішим.

Планетне товариство, яке фінансує проєкт, зробило недавно це оголошення на конференції новин у Сан Хосе, Каліфорнія. Можливість того, що чужинці з інших світів роблять візити на Землю, протягом років є найпопулярнішою темою для кінофільмів подібно ET і Кінець Сутички Третього Виду. В університеті Арізона, розвивається “мова” для розмов по радіо з чужими цивілізаціями на віддалених планетах...

(За повідомленнями Cable News Network)

...Науковий оглядач Брюс Стерлінг написав: „У кінці XX сторіччя по своїй безперспективності фізика елементарних частинок може зрівнятись хіба що з теорією ракетобудування. Все, що можна було сказати в цих галузях, вже сказано. Наступному поколінню фізиків не залишається нічого іншого як переключитись на комп'ютерну науку.”...

(З журналу Wired)

Прим. ред. Не знати як це стосуватиметься науки про ракетобудування, але вердикт щодо безперспективності фізики елементарних частинок, нагадує новорічну промову, яку виглосив на порозі XX сторіччя англійський фізик лорд Кельвін. Він сказав, що будівля фізики (всієї фізики!) здебільшого збудована, і на ясному горизонті залишилися тільки дві маленькі хмаринки. Ні лорд Кельвін, ні його колеги з Лондонського королівського товариства, де він виступив з промовою, не здогадувались, що дуже скоро з цих двох хмаринок виростуть теорія відносності та квантова механіка.

НОВИНИ зі СВІТУ

...9 грудня 2000 року відбулося відкриття двох гігантських телескопів, кожен з яких має дзеркало діаметром 6,5 м. Нові астрономічні інструменти стануть частиною обладнання обсерваторії Лас Кампанас у чилійських Андах. Ці телескопи споруджено за замовленням дослідницького консорціуму „Маґелан“, що складається з п'яти наукових центрів США...

...Через три роки завершиться будівництво найбільшого в світі оптичного телескопу, що споруджують на Канарських островах. Цей надсучасний астрономічний інструмент буде обладнано „стільниковим“ дзеркалом, діаметром 10 м. Створення нової астрономічної обсерваторії коштуватиме 100 млн. доларів.

...Геологи з ПАР та США знайшли сліди життєдіяльності давніх мікроорганізмів у породах віком 2,6 млрд. років. Підтвердження цього результату означатиме, що життя перейшло з океану на сушу майже на півтора мільярди років раніше, ніж вважалося досі...

...Прискорення технічного прогресу наочно ілюструється кількістю патентів, що видаються на нові науково-технічні винаходи. 7 грудня 2000 року Американське патентне відомство видало двом каліфорнійським винахідникам – Джефрі Гукінсу і Майклові Айбанезе патент на нову комп'ютерну систему за № 6 000 000. Американський патент № 1 було видано 1836 року, патент № 1 000 000 – 1911 року. Кожний наступний мільйон патентів видавали все швидше та швидше...

...Міжурядова група кліматологів, що аналізувала теорію глобального потепління внаслідок парникового ефекту щойно зробила нову оцінку ситуації і зробила висновок, що потепління клімату може бути ще більшим, ніж передбачалось раніше, якщо не вжити заходів для зменшення викидів парникових газів. Одним із sensationальних висновків є те, що верхня межа потепління клімату в наступні сто років може бути значно вищою, ніж це передбачалось раніше. Вони попереджають, що навіть у разі зменшення викидів парникових газів підвищення рівня Світового Океану продовжуватиметься впродовж декількох сотень років...

...Національне агентство з авіації та дослідження космічного простору – НАСА оголосило нову програму дослідження Марса. Вона передбачає пошуки води та спроби знайти позаземне життя. Реалізуючи цю програму до Марса направлять 6 автоматичних космічних апаратів. Одні з них вийдуть на навколomarсiанськi орбіти, другі – сядуть на Марс, треті вивчатимуть поверхню цієї планети. Програма досліджень передбачає доставку на Землю марсiанськiх геологічних зразків ще до 2011 року...

...Такі матеріали, як мідь, що використовуються для виготовлення провідників, чи кремній, що служить основою для створення напівпровідникових приладів та комп'ютерних чипів мають важливе значення для сучасної техніки. На долі пластмас у цій галузі залишались лише ізоляційні покриття та виготовлення корпусів таких приладів. Однак сьогодні ситуація змінюється. Як передбачають матеріалознавці, пластмаси разом з іншими органічними матеріалами в найближчі роки стануть основними матеріалами для виготовлення лазерів, транзисторів, магнетів. Епохальне відкриття, що сприятиме стрімкому розвитку органічної електроніки відзначене 2000 року Нобелівською премією з хімії, яка була присуджена докторам Алану Мак Дайарміді із Пенсильванського університету, Алану Хігеру із Каліфорнійського університету і Хідекі Шіракаві з Цукубського університету Японії. Ці вчені вперше перетворили пластмасу, яка зазвичай складається з мільйонів ідентичних молекул, пов'язаних у довгі полімерні ланцюги, що не проводить електричного струму, в провідник. Це відкриття та результати деяких інших досліджень електричних властивостей органічних матеріалів відкривають шлях до нової електроніки XXI сторіччя, що ґрунтуватиметься на органічних матеріалах...

(З інтернету)



ГУМОР

Вежа і барометр

Розгляньмо низку розв'язків всесвітньо відомої проблеми вимірювання висоти вежі за допомогою барометра. Для розуміння запропонованих розв'язків слід попередньо вивчити фізику в обсязі середньої школи.

„Барометр – це прилад, за допомогою якого наприкінці ХХ сторіччя вимірювали висоту веж.”

(Світова енциклопедія, 2495 рік)

Виміряйте час падіння барометра з вершини вежі. Висоту вежі розрахуйте через час і прискорення вільного падіння. Цей розв'язок є найтривіальніший і тому не надто цікавий.

Виміряйте час спливання барометра з дна заповненої водою вежі. Швидкість спливання барометра виміряйте в найближчому басейні або цебрі. Якщо барометр важчий від води, прив'яжіть до нього повітряну кулю.

Покладіть барометр на вежу. Заміряйте деформацію стиску вежі. Висоту вежі знайдіть за законом Гука. Вважайте, що вежа деформується пружно.

Насипте купу барометрів такої ж висоти, що й вежа. Висоту вежі розрахуйте за діаметром основи купи й коефіцієнта нахилу купи барометрів. Його можете знайти, наприклад, за допомогою меншої купи барометрів.

Закріпіть барометр на вершині вежі. Пошліть кого-небудь вгору зняти покази барометра. Висоту вежі розрахуйте за швидкістю руху людини й часу її пересування.

Натріть один барометр вовною на вершині, а другий – біля основи вежі. Знайдіть силу взаємного відштовхування цих барометрів. Ця сила буде обернено пропорційна висоті вежі.

Розмістіть вежу й барометр у далекому космосі (ізолювано від інших тіл). Встановіть їх нерухомо одне до іншого на визначеній відстані. Виміряйте час падіння барометра на вежу. Висоту вежі знайдіть за масою барометра, часом падіння, діаметром і густиною вежі.

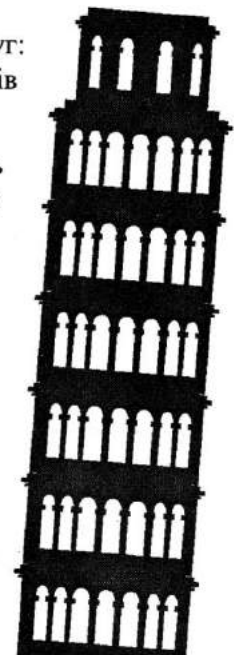
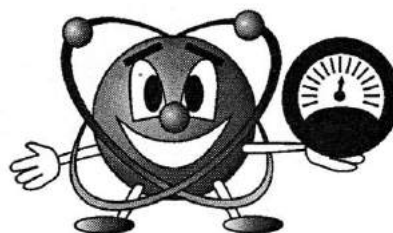
Покладіть вежу на землю горизонтально. Скористайтесь способом імені 38 папуг: перекочуючи барометр від вершини до основи, порахуйте кількість повних обертів барометра.

Спочатку закопайте вежу в землю, а потім – вийміть її. Отриману яму заповніть барометрами доверху. Знаючи діаметр вежі та кількість барометрів, що припадає на одиницю об'єму, розрахуйте висоту вежі.

Виміряйте вагу барометра на поверхні та дні ями, отриманої у попередньому досліді. Різниця значень сили ваги дасть змогу визначити висоту вежі.

Покладіть вежу на барометр, виміряйте величину деформації барометра. Для розрахунку висоти вежі потрібно додатково знати її масу та діаметр барометра.

Прив'яжіть до барометра мотузку довжина якої дорівнює висоті вежі. Використайте цю конструкцію замість маятника. Період коливань маятника однозначно визначить висоту вежі.





„РОЗУМНИЙ“ РОБОТ

Антарктида вже багато років зберігає таємниці про походження нашої планети, про формування клімату Землі та важливі віхи її історії. Люди не змогли заселити та освоїти цей материк, і він більше від інших куточків Землі зберігся у своєму первісному вигляді. В останні роки після створення низки науково-дослідних станцій вчені отримали змогу працювати і тут. Сьогодні сотні дослідників намагаються якомога ефективніше використати коротке полярне літо для досліджень Антарктиди. Крім того, вчені вважають Антарктиду справжнім „заповідником“ метеоритів – прибульців із інших світів.

Починаючи з 1969 року, вчені світу зібрали тут майже 20000 метеоритів, які пролежали під сніговими пластами сотні тисяч років. Рух льодовиків сконцентрував кам'яні породи позаземного походження на деяких ділянках материка.

Серед метеоритів, знайдених в Антарктиді, є не тільки такі, що розлетілись під час утворення Сонячної системи мільярди років тому, але й фрагменти Місяця та Марса, викинуті в космос завдяки зітк-

ненню цих космічних тіл з астероїдами та кометами. Метеорит, знайдений в Антарктиді 1984 р., на думку вчених, має марсіанське походження і свідчить про існування на Марсі найпростіших форм життя. Дослідження таких метеоритів допоможе вченим дізнатись, чи є на інших планетах вода, рослинність, мікроорганізми.

2000 року розпочався новий важливий етап наукової програми пошуку та збору метеоритів в Антарктиді. Тут почав працювати найсучасніший науковий робот – шукач метеоритів, що називається „Кочівник“. Це чотириколісна машина масою 800 кг та розмірами, близькими до легкового автомобіля, створена в Інституті Робототехніки Пітсбурзького університету (США). Він має двигун внутрішнього згорання, який приводить у дію електрогенератор, що забезпечує електроенергією колісний привід, комп'ютери, системи зв'язку, наукову апаратуру. Кожне із чотирьох коліс робота обертається окремим електродвигуном і має шини із металевими шипами для руху по снігові та льодові. Робот долає перешкоди заввишки метра та знаходить за допомогою своїх лазерних „шу-





пальців” оптимальний шлях. Він рухається зі швидкістю два кілометри за годину, одночасно досліджуючи поверхню вибраної ділянки. Завданням „Кочівника” є самостійний пошук метеоритів, що зберігаються в льодяних полях Антарктиди серед звичайного каміння. Творці цього робота впевнені, що він досить розумний, і здатний самостійно знаходити метеорити. Професор Вільям Вітaker, конструктор робота, зазначає, що досі дослідницькі роботи, працюючи в космосі, чи океанських глибинах, тільки фотографували та знімали на відеоплівку все те, що бачили і переправляли це вченим, які визначали цінність зібраної інформації і приймали рішення. „Кочівник” самостійно вестиме пошук, подібно до польових геологів – говорить професор Димитріос Апостолопулос, системний аналітик Інституту Робототехніки. Він зможе заглиблювати свої інструменти в кам’яну породу, щоб визначати її фізичні характеристики: колір, хімічний склад, електропровідність тощо. Виявивши який-небудь зразок, подібний на метеорит, робот проводитиме детальні дослідження за допомогою різних аналізаторів, якими обладнана його „рука”. Він обладнаний мініатюрною телекамерою, що дає змогу розглядати знахідку під різними кутами, спектрометром, який скеровує світовий промінь на об’єкт, а потім аналізує спектр відбитого світла, щоб визначити його хімічний склад. Далі робот за допомогою металодетектора визначає чи є у ньому залізо – основна компонента багатьох метеоритів. Накінець, проаналізувавши отриману інформацію, він робить висновок про природу зразка. Якщо досліджувана порода метеоритного походження, робот посилає радіосигнал, який дасть змогу вченим визначити координати знахідки.

„Із тисячі зразків, переглянутих роботом, тільки близько сотні зможуть зацікавити учених, – говорить професор Д. Апостолопулос. – „Кочівник” не тільки повідомить, що цей камінець є метеоритом, але й визначить його тип. Це більше, ніж просто „так” чи „ні”.

Розробку „розумного” робота, яка вже нині коштує 3,5 мільйона доларів, фінансує Національне Управління з Аеронавтики та Дослідження

Космічного Простору США (НАСА), НАСА зацікавлене використовувати роботи, що самостійно приймають рішення на інших планетах, оскільки там керувати звичайними космічними роботами майже неможливо. До далеких планет радіосигнал із Землі йде десятки хвилин, або навіть години. Тому потрібні роботи, які здатні самостійно орієнтуватися в невідомому людям середовищі, миттєво розпізнавати та оцінювати небезпеки, щоб встигнути їх уникнути.

Антарктида – зручний полігон для випробування таких роботів та напрацювання дистанційної взаємодії з роботами в особливо важких кліматичних умовах.

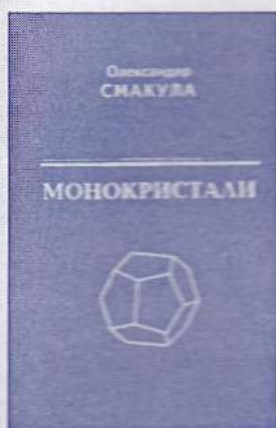
1997 року робот „Кочівник” пройшов випробування в пустелі Атакама (Чилі), пізніше 1997–1998 роках його випробували в Антарктиді. Тоді він мав мінімальну самостійність. Тепер „Кочівник” працює і випробовується у віддаленій антарктичній місцевості – на Слоновій морені. Це основний район знахідок метеоритів на Східному Плато Антарктиди. Слоновою мореною це місце названо тому, що його обриси з літака нагадують невеликого слона з довгим хоботом.

Професор Ральф Харві, керівник наукової програми пошуку метеоритів в Антарктиді, вважає, що результати досліджень робота в районі, де вже знайдено багато метеоритів, легко перевірити. Це допоможе встановити, наскільки вчені можуть покладатись на нього. Сам професор Харві переконаний, що очі людини та її аналітичний розум завжди точніше за роботів вирізнятимуть метеорити серед подібного каміння земного походження. Однак робот може стати корисним помічником у таких дослідженнях.

Учений зазначив: *„У робота ніколи не розсіюється увага. Він не знає втоми. Йому ніколи не набридне монотонна рутинна праця, що повторюється з дня на день. Робот вивільняє людину для іншої цікавішої роботи. Якщо „Кочівник” знайде метеорити, які без його допомоги не вдалось б знайти, це стане важливою науковою подією. Тоді ми побачимо, що „Кочівник” – не просто іграшка для демонстрації електронно-технічних ефектів, а повноцінний помічник учених у наукових дослідженнях.”*

НОВИНКИ.....

.....НОВИНКИ



У рік ювілею видатного українського фізика Олександра Смакули вийшли з друку перші два томи тритомника його „Наукових праць”. Перший том (Тернопіль: Видання фонду О. Смакули, 2000. – 400 с.) містить наукові статті з оптики і кристалофізики, що публікувалися німецькою та англійською мовами упродовж 50 років у різних наукових журналах Німеччини і США. Другий том – переклад українською мовою відомі монографії О. Смакули „Монокристали” (К.: Рада, 2000. – 429 с.) містить ґрунтовний опис розробок щодо вирощування і практичних застосувань синтетичних монокристалів. Третій том „Наукових праць” О. Смакули готується до друку. Крім того, буде видано книгу про життя і творчість професора О. Смакули.

Наукові праці Олександра Смакули становлять великий інтерес для спеціалістів з оптичної та електронної техніки, для студентів і молодих науковців.



Максимчук В., Городиський Ю., Кузнєцова В. Динаміка аномального магнітного поля Землі. – Львів: Євросвіт, 2001. – 312 с.

У монографії розглянуто актуальні питання нового напрямку в геомагнетизмі – динаміки аномального магнетного поля Землі та його застосування в сеймопрогностичних цілях, у задачах розвідувальної геофізики, а також у пошуках родовищ нафти і газу. Проаналізовано основні фізичні механізми генерації аномальних часових змін геомагнетного поля та їхнє математичне моделювання. Детально розглянуто проблеми вивчення регіональних і локальних аномалій вікової варіації геомагнетного поля. Подано результати дослідження динаміки аномального магнетного поля в Закарпатській сейсмоактивній зоні, Терсько-Каспійському прогині, Дніпрово-Донецькій западині та інших регіонах.

Для геофізиків, геологів, спеціалістів суміжних спеціальностей.

Журнал „СВІТ ФІЗИКИ”

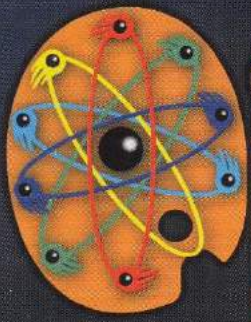
виходить з 1997 р. 4 рази на рік.

Для тих, хто бажає придбати комплект попередніх чисел журналів, або не встиг передплатити на 2001 р., пропонуємо звернутися із замовленням безпосередньо в редакцію за адресою:

редакція журналу „Світ фізики”,
вул. Саксаганського, 1,
79005, м. Львів, а/с 6700.

Тел.: 0322 40-31-88, 40-31-89.

Ел.пошта: phworld@franko.lviv.ua,
sf@ktf.franko.lviv.ua



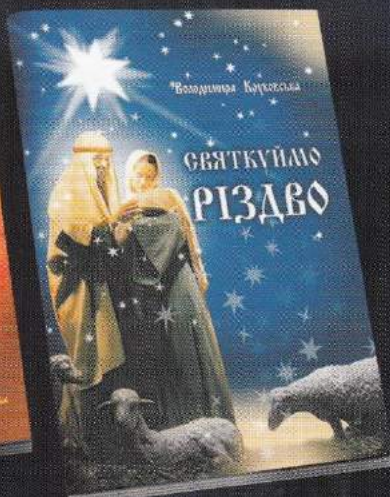
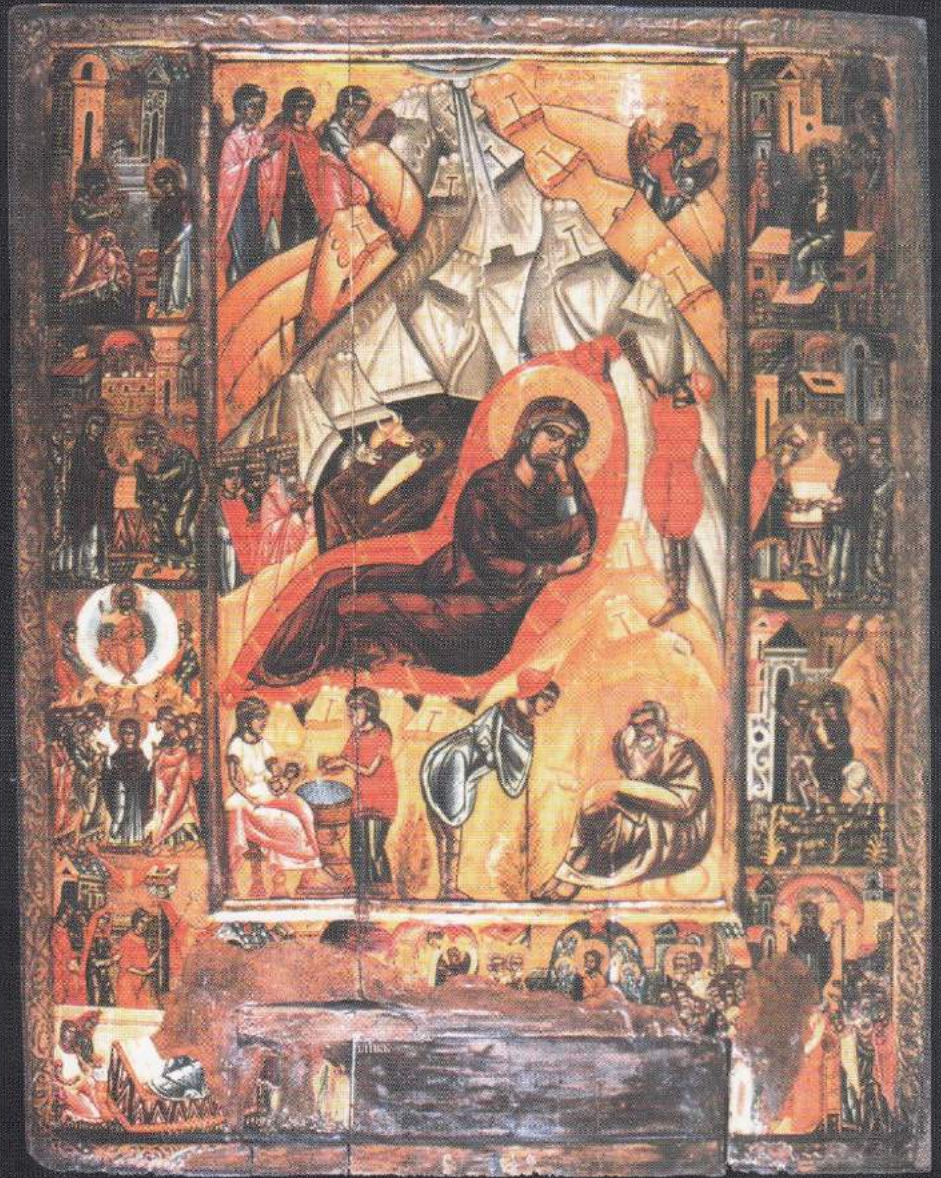
МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"

Різдво Христове зі сценами з життя Марії.

XVI ст., дошка, темпера,
52x121, с. Трушевичі,
Львівська обл.
Із збірки Національного
музею у Львові.

Історична подія, що започаткувала літочислення в історії людства і якою розпочинається кожний рік, знайшла своє відображення в українському сакральному мистецтві. Ікона "Різдво Христове із сценами життя Марії" розкриває тему народження Христа. Центральне зображення ікони оточують сюжетні сцени з життя Богоматері: Благовіщення, Собор Богородиці, Стрітіння, Обрізання, Вознесення, Втеча в Єгипет, Різдво Богородиці, Введення у храм, Успіння, Покрова. Вона є однією з найзмстовніших та мистецько-довершених зразків іконографії Різдва в українському давньому мистецтві.

(І. Гах)



Учителям, вихователям дошкільних закладів, батькам „Євросвіт” пропонує книги про українські традиції: „Святкуймо Миколая”, „Святкуймо Різдво”, „Святкуймо Великдень” тощо.