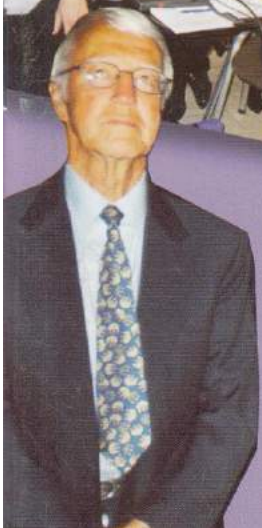
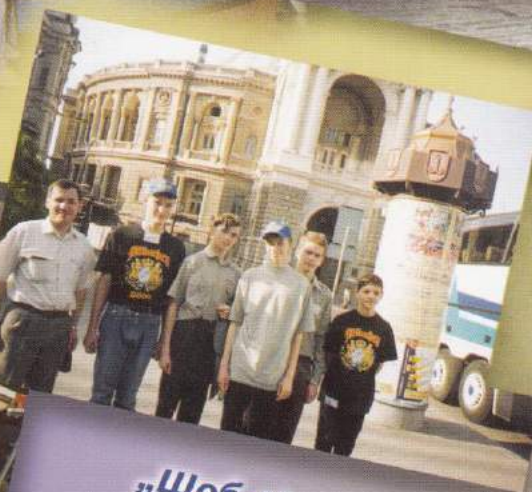
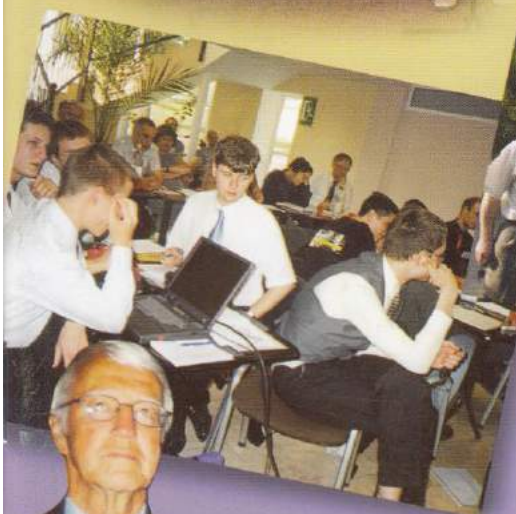


С В І Т

ФІЗИКИ

№2
2002

науково-популярний журнал



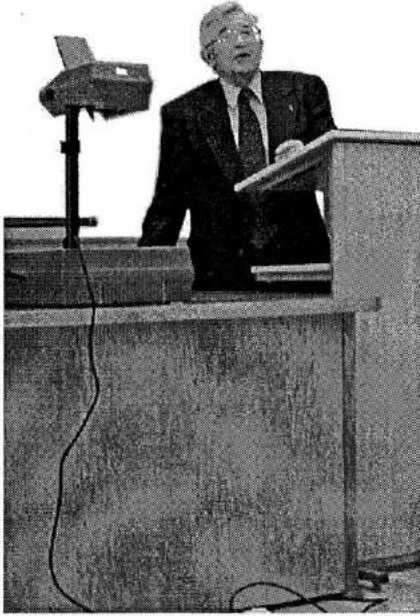
*„Фізика
перебуває
у центрі всього”
Гунар Тібель*

*„Щоб діти любили фізику,
будьте до них доброзичливими
і нам буде з ким спілкуватись
у майбутньому”*

Валерій Колебошин



ДО 40-РІЧЧЯ ТАХІОНОВОЇ ГІПОТЕЗИ



21 травня 2002 року Наукове товариство ім. Шевченка, Українське фізичне товариство, Львівський національний університет імені Івана Франка і редакція журналу „Світ фізики” провели наукову конференцію, присвячену 40-річчю тахіонної гіпотези. З доповіддю на семінарі виступив один із авторів цієї гіпотези професор Олекса-Мирон Біланюк. Професор розповів, як понад 40 років тому він з В. Дешпанде і Е. Сударшаном, аналізуючи головні висновки спеціальної теорії відносності, побачили можливість існування частинок, що рухаються швидше за світло – „тахіонів”. Учені довго та наполегливо долали упереджене ставлення до своєї гіпотези редакторів наукових видань аж поки не з’явилася їхня перша публікація на цю тему. О. Біланюк також проаналізував, як розвивалась ця гіпотеза впродовж сорока років, зазначив, що починаючи зі статті „The neutrino as a tachyon” (A. Chodos, A. Hauser, V. Kostelecky, Physics Letters, 1985. V. 150B. P. 431)

Олекса Біланюк під час виступу у Львівському національному університеті імені Івана Франка (Львів, 21 травня 2002 р.)

значно зросла зацікавленість фізиків цією проблемою, і сьогодні це поняття активно залучається до з’ясування природи і властивостей електронних нейтрино та спектра космічних променів. Учений відповів на запитання присутніх, взяв участь у науковій дискусії.

На цій конференції відбулась презентація збірки наукових праць О. Біланюка „Тахіони”, яка вийшла з друку у видавництві „Євросвіт” 2002 р.



Член-кореспондент НАН України Ігор Стасюк, Голова Наукового товариства імені Шевченка Олег Романів, професор Олекса Біланюк, ректор ЛНУ імені Івана Франка, професор Іван Вакарчук (Львів, 21 травня 2002 р.)

22 травня 2002 р. професор О. Біланюк у Тернополі виступив на засіданні Фонду Олександра Смакули. Там його обрали першим почесним членом Фонду за наукові досягнення та внесок у відродження імен українських учених.

23 травня О. Біланюк прочитав лекцію для викладачів і студентів Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя. Там відбулась презентація книги „Тахіони”, а також під час зустрічі О. Біланюка з учнями ліцею у селі Добриводи.



Зустріч на батьківщині О.Смакули (с. Добриводи. 22 травня 2002 р.)

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

2(18) '2002

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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк

СП „Євросвіт”, наклад 1000 екз.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 40 31 88, 40 31 89

у Києві 380 (044) 416 60 68

sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

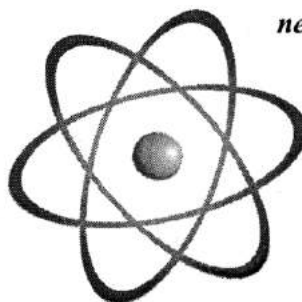
„Ми живемо, не знаючи як побудований світ. Не задумуємось над тим, який механізм породжує сонячне світло, який забезпечує наше існування, не думаємо про гравітацію, яка утримує все на Землі, не даючи їй скинути нас у простір. Нас не цікавлять атоми, з яких ми складаємось...”

За винятком дітей, мало хто думає над тим, чому природа така, яка вона є, звідки взявся космос і чи не існував він завжди? чи можна повернути час назад, так, що наслідок передуватиме причині? чи є межа людського пізнання? Бувають такі діти, яким хочеться дізнатись, як виглядає чорна діра, яка є найменша частинка речовини? чому ми пам'ятаємо минуле і не пам'ятаємо майбутнього? якщо раніше і був хаос, то що відбулось, що тепер встановився порядок? і чому Всесвіт взагалі існує?

Розвиток філософії і природничих наук рухається вперед саме завдяки таким запитанням. Все більше дорослих людей виявляють зацікавлення до них, і відповіді часом бувають зовсім несподіваними...”

Із книги С. Гокінга „Коротка історія часу від великого вибуху до чорних дір”

*Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища фізики

Бакай Олександр. Першовідкривач у царині фізики низьких температур

2. Фізика України

Шпенник Отто, Завілопуло Анатолій. Шлях у науку

3. Фізика світу

Шопа Галина. Феномен Стівена Гокінґа

4. Нобелівські лавреати

Гальчинський Олександр. Ідеї об'єднання справджуються

5. Актуальні проблеми...

Шопа Галина. Інтелектуальні змагання школярів світу

6. Олімпіади, турніри...

Орлянський Олег. Парадокси колеса

7. Творчість юних

Ткаченко Анна, Тінітілов Дмитро, Матвейчук Олег, Самошкін Сергій, Пипко Сергій, Віктор Павло.

Молочна вода з Одеського водогону

Ржепецький Сергій. Молочна вода

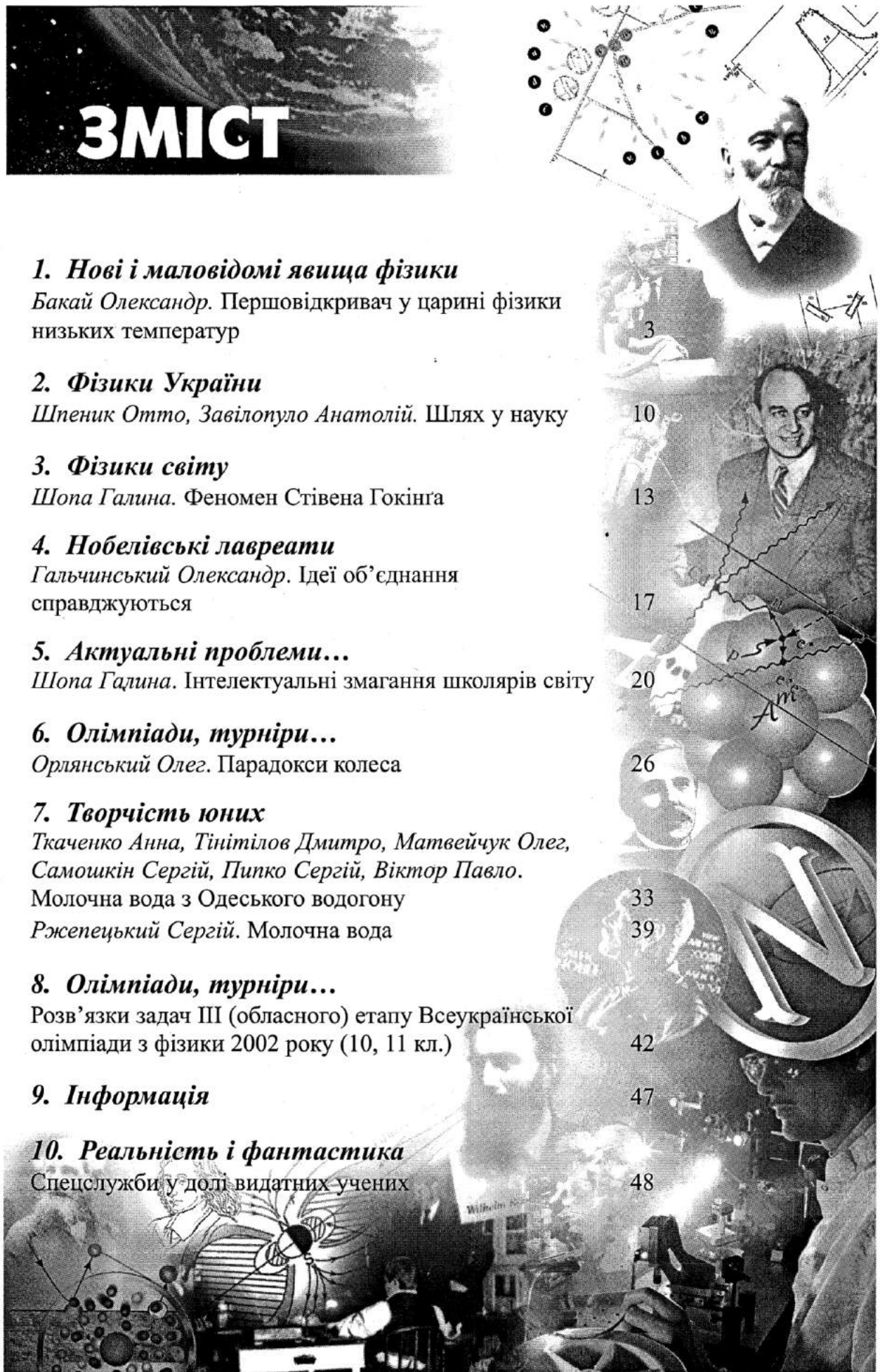
8. Олімпіади, турніри...

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2002 року (10, 11 кл.)

9. Інформація

10. Реальність і фантастика

Спецслужби у долі видатних учених





До 100-річчя від дня народження
Лева Шубнікова

ПЕРШОВІДКРИВАЧ У ЦАРИНІ ФІЗИКИ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Олександр Бакай

*член-кореспондент НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор,
завідувач кафедри теоретичної фізики ННЦ „Харківський фізико-технічний інститут”*

Щоб оцінити значення наукового доробку Лева Шубнікова, проаналізуємо стан фізики конденсованих середовищ, галузь, в якій він отримав основні результати наприкінці 20-х років минулого сторіччя.

На той час у фізиці відбулося три великі взаємозв'язані події: була побудована теорія електромагнетизму, теорія відносності й сформульована квантова гіпотеза, яка дала початок квантовій механіці. Тоді ж були відкриті α -, β -, γ -промені, і радіоактивність стала однією з галузей фізики, що активно розвивалась. Саме в цій галузі фізики були зосереджені зусилля теоретиків і експериментаторів, яких було набагато менше, ніж сьогодні. Фізика твердого тіла не вважалась пріоритетною галуззю досліджень, хоча на той час у ній було зроблено низку значних відкриттів. До них відносяться, зокрема, досягнення в галузі експериментальної кристалографії, що ґрунтувалася на методах рентгенівської дифракції, надпровідність, що відкрив Камерлінг-Оннес 1911 року. Природа цього явища, звісно, була незрозумілою, та залишались незрозумілими й принциповіші речі, такі, наприклад, як існування квантової механіки, тобто закони, що визначають будову атомів. Значущість фізики твердого тіла на той час характеризує відома репліка В. Паулі: „...не подобається мені ця фізика твердого тіла, ... хоча і я з цього починав”. Паулі мав на увазі свою знамениту працю 1926 року з парамагнетизму виродженого електронного газу в термостаті. Це, мабуть, перша праця, в якій були використані принцип Паулі і статистика Фермі-Дірака для опису поведінки електронів у магнетному полі. Передбачалось, що ця

модель відтворює основні властивості електронів провідності в металах. Основним результатом був висновок про те, що магнетна сприйнятливості не залежить від температури, пропорційна магнетонів Бора та обернено пропорційна до енергії Фермі. Нагадаю, що до того часу були встановлені два відомі закони, що визначають залежність магнетної сприйнятливості від температури, а саме: закон Кюрі і закон Кюрі-Вейса. Згідно з першим, магнетна сприйнятливості оберненопропорційна до температури. За другим законом, магнетна сприйнятливості прямує до нескінченності при скінченній температурі, $\chi \sim 1/(T - T_c)$, де T_c – температура Кюрі. Із згаданої праці Паулі і пізнішої праці Л. Ландау (1930) щодо діаманетизму електронів розпочинається квантова теорія електронних властивостей твердих тіл, яку пізніше почали називати „ферміологією”. Ці праці згадані не лише тому, що вони стосуються досліджень, які виконав Л. Шубніков, а й тому, що характеризують стан на „феноменологічній” ділянці у той час.

Невдовзі після того, як Камерлінг-Оннес отримав Нобелівську премію, уряд Голландії вирішив створити національну криогенну лабораторію, яку очолив сам лавреат. Коли Лев Шубніков починав свою наукову діяльність, це була одна з чотирьох відомих у світі криогенних лабораторій. Лев Шубніков потрапив до Лейдена, власне, через таємницю вісмуту. Електричний опір вісмуту поводить себе якось незрозуміло. Було відомо, що він залежав від способу виготовлення зразків, зокрема, від їхньої чистоти. П. Капиця (у лабораторії Резерфорда) з'ясував, що в магнетному полі опір



вісмуту змінювався на три порядки за доступних на той час напруженостей магнетного поля до 30 кГс. У слабкому полі опір має квадратичну залежність від напруженості, у сильніших полях – він зростає за лінійним законом. Цікаво, що у згаданій праці Ландау з діамagnetизму електронів наприкінці короткого обговорення зазначено, що поява цього магнетоопору зумовлена дефектами ґратки, на яких розсіюються електрони, що знаходяться у квантових станах з енергією, близькою до рівня Фермі. Далі йде подяка П. Капиці за корисне обговорення. Напевно результатом цих обговорень і стало запропоноване Капицею пояснення магнетоопору вісмуту, яке ґрунтувалось на передбаченні, що розсіювачами електронів є протяжні дефекти ґратки.

В. де Хаас, який після Камерлінга-Оннеса став директором Лейденської лабораторії, вирішив провести вимірювання при низьких температурах на монокристалічних зразках вісмуту високої чистоти.

Перші праці Лева Шубнікова, які він виконав у студенські роки під керівництвом Обреїмова, якраз і були присвячені вирощуванню чистих кристалів, правда, для іншої мети. Його, зрештою, за рекомендацією Обреїмова, і вибрав В. де Хаас.

У Лейдені Лев Шубніков зумів виростити найчистіші на той час монокристали вісмуту і провів заплановані дослідження опору у магнетному полі при водневих температурах. Результати були опубліковані в серії статей спеціального випуску Лейденських вісників (Leiden. Comm., 1930). Основний результат, який виявив явище, відоме як осциляції Шубнікова-де Хааса, зображено на рис. 1).

У нижній частині цього рисунка зображена залежність опору від магнетного поля при двох орієнтаціях (паралельно та перпендикулярно до осі [112]). Ці криві подано для різних температур і орієнтацій. Видно, що верхня крива відображає немонотонну поведінку опору, який змінюється на три порядки за величиною і змінюється немонотонно. Залежність опору від орієнтації магнетного поля, зображена на верхній частині рисунка, також виразно немонотонна і періодична.

Результати Капиці за вищих температур були також відтворені, але гіпотеза про визначальну роль дефектів у магнетоопорі вісмуту виявилась непереконливою.

Пояснення осциляцій Шубнікова-де Хааса, (якісне і кількісне) було отримане пізніше, коли вдалося побудувати поверхню Фермі вісмуту і відтак застосувати теорію Ландау, викладену у згаданій вище праці. Сам Ландау побудував теорію осциляцій магнетної сприйнятливості у магнетному полі (ефект де Хааса – ван Альфвена). Цей ефект має природу, подібну до ефекту Шубнікова-де Хааса.

Вісмут належить до так званих напівметалів, у ньому кількість електронів провідності надто мала, всього 10^{-5} на атом. У вісмуту зони провідності і валентна зони слабо перекриваються. Якщо б не це перекриття, то вісмут був би ізолятором. На рис. 2 зображено, як виглядає поверхня Фермі вісмуту та схематично зображено перекриття зон. Видно, що це не сфера, як припускав Паулі і як вважав Ландау. Вона складається із трьох еліпсоїдів у верхній зоні та одного – у нижній. У верхній зоні всі стани поза еліпсоїдами вільні, а в нижній – вільні стани всередині еліп-

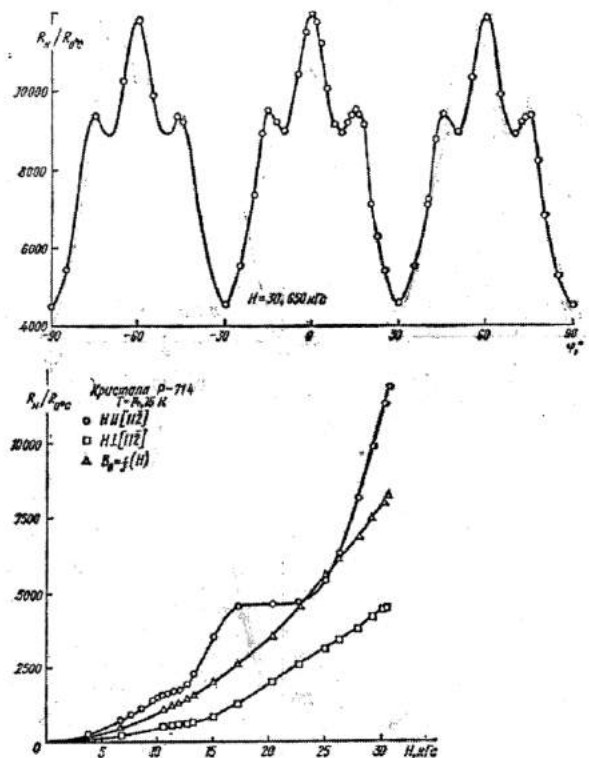
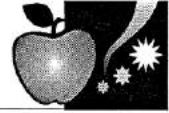


Рис. 1. Осциляції Шубнікова-де Хааса у вісмуті. Угорі – залежність опору вісмуту в магнетному полі від кута між полем і кристалічною віссю [112] (L. Shubnikov, W.J. de Haas, Leiden Comm. No 210, 1930)



соїда. Всі чотири еліпсоїди прийнято зображати на одному рисунку (тут зображена подвоєна копія). Відмінною рисою еліпсоїдів у верхній зоні – їх анізотропія (довжини осей еліпсоїдів відносяться між собою як 1:0,1:0,05). Кількість заповнених станів у верхній зоні, що дорівнює кількості вільних станів у нижній зоні, майже 3×10^{17} електронів у см^3 . Через малу кількість носіїв будь-яке розсіяння та будь-які завади призводять до зростання опору. Окрім того, висока чутливість цих електронів до магнетного поля пояснюється тим, що електрон у кристалічній ґратці зовсім не вільний, і його ефективна маса стає маленькою, внаслідок чого циклотронна частота, яка визначає рівні електронів провідності у магнетному полі (рівні Ландау), велика.

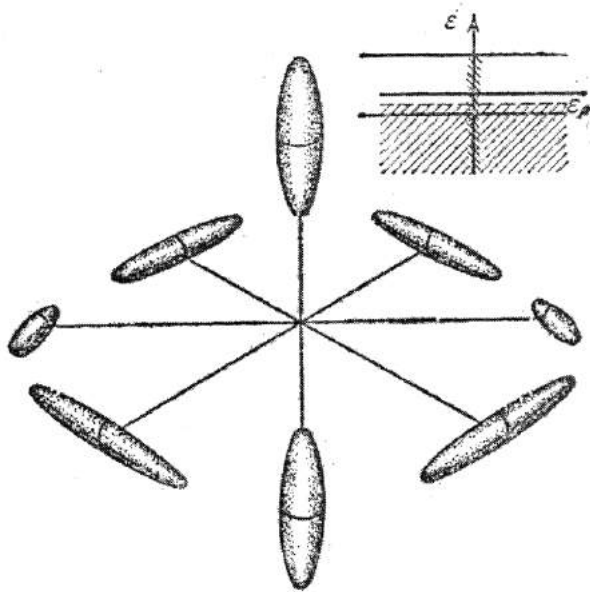


Рис. 2. Поверхні Фермі і слабке перекриття зон вісмуту

Квантування орбіт електронів і перебудова у магнетному полі зображені на рис. 3. Циклотронна частота позначена ω_c ; ϵ – енергія електрона, n – довільне додатне ціле число, значення $n = 0$ відповідає нульовим коливанням, p_z – значення імпульсу вздовж магнетного поля. У визначенні циклотронної частоти eH/mc , як і у виразі для кінетичної енергії, входить ефективна маса електрона, яка у вісмуту дуже мала, порядку однієї со-

тої від маси вільного електрона. Однак, як уже зазначалось, циклотронна частота порівняно велика і вплив магнетного поля дуже ефективний.

Дозволені стани лежать на циліндрах в імпульсному просторі, причому вони не заповнені лише в межах фермі-сфери. Це ілюструється для вільного електронного газу (сферична поверхня Фермі) для трьох різних значень магнетного поля. Показано також квантування для еліпсоїдальної Фермі-поверхні (поле, як і раніше, напрямлене вертикально). Якщо змінювати магнетне поле, то діаметр циліндрів змінюється і тому на поверхні Фермі електронна густина осцилює.

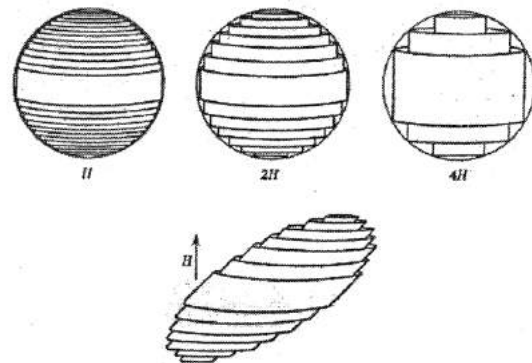


Рис. 3. Квантування орбіт у магнетному полі

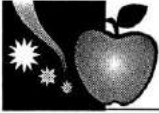
$$\epsilon_n = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_c + \frac{p_z^2}{2m^*},$$

$$\omega_c = \frac{eH}{m^*c},$$

де m^* – ефективна маса.

У вісмуті $m^* \approx 0,01m_e$, і густина електронів провідності $n_e \sim 10^{-5}$ на один атом.

Врешті це і призводить до осциляцій опору і магнетної сприйнятливості, чутливих, як зазначалось, до густини електронів на рівні Фермі. Згодом відтворення структури поверхні Фермі експериментально здійснив Шенберг у 50-х роках ХХ сторіччя. Підґрунтям для цих робіт була теорія Ліфшиця і Косевича, в якій використано квазікласичний метод квантування орбіт і показано, як можна відтворювати поверхню Фермі, аналізуючи експериментальні результати. Зайве говорити, настільки важливими виявились праці Лева Шубнікова для розвитку „ферміології”.



Рідкий водень і гелій у Кріогенній лабораторії УФТІ Л. Обреїмов планував застосовувати для дослідження спектрів молекулярних кристалів при низьких температурах. Можливо, він сподівався отримати такі ж несподівані результати, як і надпровідність. Адже електронна структура твердих тіл, природа молекулярних сил були зовсім невивченими, хоча їхні макроскопічні вияви свідчили про нетривіальну мікроскопічну природу. Вилучавши з гри теплові коливання молекул, можна було розраховувати на виявлення тонких мікроскопічних ефектів. Нині можна сказати, що очікування Івана Васильовича справдилися хіба тільки у тому, що фізика кріокристалів, яку він створював, виявилась багатою на цікаві і тонкі фізичні ефекти, хоч явища, співмірного з надпровідністю, відкрити так і не вдалось. Либонь, це моє суб'єктивне бачення.

Не дивина, що, отримавши рідкий гелій та водень (за рекордно короткий час), Лев Шубніков, наслідуючи приклад лейденців, розпочав разом із своїми співпрацівниками інтенсивні дослідження на той час вкрай загадкової надпровідності чистих металів та сплавів, і дуже швидко домігся успіхів.

Вивчаючи поведінку магнетної індукції в чистих металах прямим способом, Шубніков і Рябінін з'ясували, що магнетне поле виштовхується із зразка, діамagnetизм дорівнює одиниці, тобто магнетне поле зовсім не проникає в надпровідник. Водночас Мейснер із своїм працівником провели подібний дослід і випередили харківчан з публікацією. Перед цим Мейснер був у Харкові і знав про дослідження, які там планували виконати. Можливо, це й активізувало його дослідження. Як відомо, співробітництво (і певне змагання) кріогенних лабораторій Лейдена, Берліна, Харкова і Оксфорда на той час було тісним, воно ґрунтувалось на особистих контактах фізиків. Лев Шубніков, як згадувала його дружина Ольга Миколаївна, не дуже переймався тим, що честь відкриття діамagnetизму чистих металів отримав Мейснер. Термін „мейснерівська фаза” закріплений за надпровідним станом з діамagnetною сприйнятливістю що дорівнює одиниці. Зате Леву Шубнікову з колегами належить відкриття шубніківської фази і другого критичного магнетного поля.

Також їм належать ґрунтовні дослідження проміжного стану надпровідників.

У проміжному стані, коли частина надпровідника знаходиться в нормальному стані, а частина – у надпровідному, спостерігається неоднорідний розподіл магнетного поля, так що мейснерівська фаза чергується з нормальною (рис. 4).

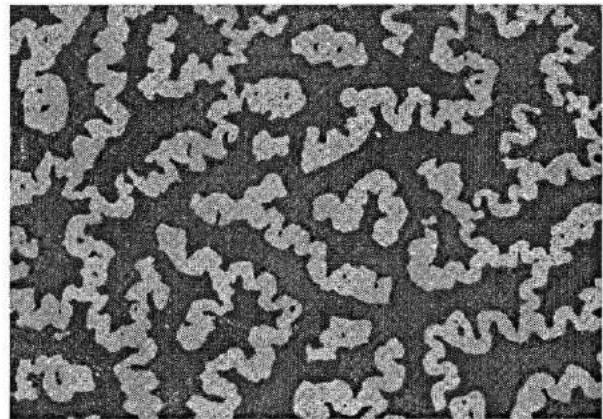


Рис. 4. Проміжний стан індієвого диска. Чистота індію 99,999 ат. %; товщина диска 11,7 мм; діаметр 38 мм; $B_a/B_{et} = 0,1$; $T = 1,98$ К; $T_k = 3,42$ К. Перехід із нормального стану в надпровідний стан. Збільшено у 5 разів.

Л. Шубніков досліджував це разом із В. Хоткевичом, Ю. Рябініним та вже на інших зразках. Вибираючи зразки у формі сфер і кілець, вони досягали неоднорідних розподілів магнетного поля і встановили низку важливих особливостей проміжного стану. Зображені візуалізовані проміжні стани індієвого диска (рис. 4, рисунок з книги В. Буккеля „Надпровідність”) були одержані багато років пізніше. Ландау створив теорію проміжного стану надпровідників. Зрозуміло, що міжфазна межа відіграватиме роль, якщо нормальна і надпровідна фази перебуватимуть майже у рівновазі.

Л. Ландау побудував першу теорію проміжного стану у спеціальній геометрії, обмежившись запровадженням лише одного феноменологічного параметра – міжфазної енергії нормального і надпровідного станів. Згодом, коли В. Гінзбург, Л. Ландау застосували своє відоме феноменологічне рівняння, міжфазну енергію вдалось вирази-



ти через інші (поки що феноменологічні) параметри – кореляційну довжину електронів Φ і глибину проникнення магнетного поля α . Ця теорія добре узгоджувалась з експериментом. Ось вам співробітництво і взаємний вплив двох Левів у Харкові...

Перші результати, які виявили існування шубніківської фази, зображено на рис. 5. У чистих надпровідниках (такі матеріали назвали надпровідниками першого роду), в однорідному полі, магнетна індукція стрибком зростає від нуля до остаточного значення, якщо напруженість поля досягає критичного значення, після чого вона змінюється за лінійним законом. У випадку сплавів це не так.

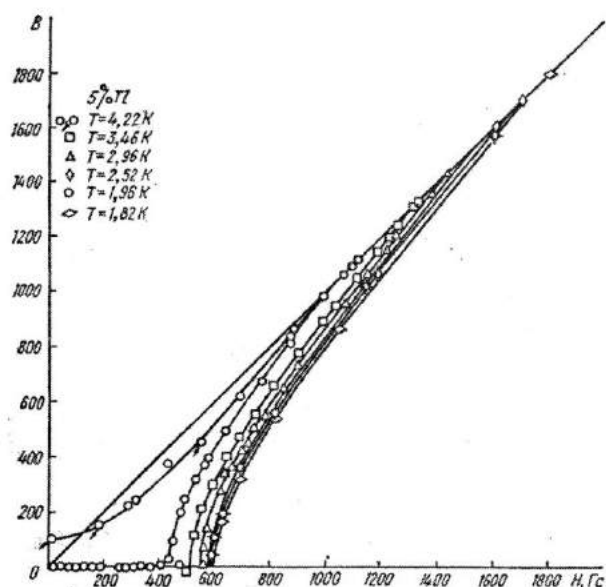


Рис. 5. Залежність магнетної індукції від напруженості зовнішнього магнетного поля для сплаву $Pb_{95}Tl_5$ при низьких температурах (Шубников Л.В., Хоткевич В.И., Шепелев Ю.Д., Рябинин Ю.Н. ЖЭТФ. 1937. 7. 221–237)

Магнетна індукція дорівнює нулеві доти, поки напруженість магнетного поля не досягне критичної величини, яка залежить від температури і спадає з її зростанням. При напруженостях магнетного поля більших від критичної, індукція змінюється плавно, аж поки при певній (другій критичній) напруженості магнетного поля не починає збігатися з індукцією зразка у нормальному стані.

Як видно з рис. 5, у сплаві свинцю з 0,5% талію при температурі, 1,82 К перше критичне поле дорівнює майже 600 Гаус, а друге – майже 1850 Гаус, після чого зразок переходить у нормальний стан. Ділянка існування шубніківської фази – між першим і другим критичним полем. Цю фазу так називали довгий час лише в іноземних джерелах (з відомих причин). У Радянському Союзі її називали змішаним станом.

У працях 1952–1957 рр. О. Абрикосов описав термодинаміку цієї фази і довів, що магнетне поле існує у вигляді ізольованого потоку (або вихорів векторного потенціалу). Ці вихорі утворюють правильну ґратку. Візуалізована картина шубніківської фази зображена на рис. 6.

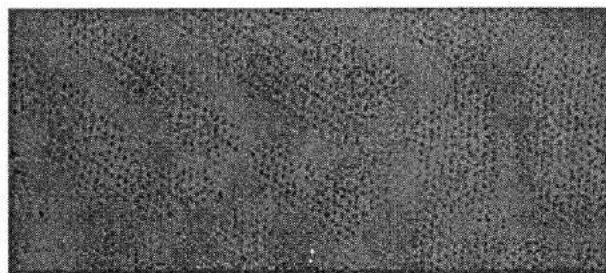


Рис. 6. Електронно-мікроскопічне зображення ґратки магнетних вихорів, декорованих колоїдними частинками заліза. Потік заморожений у нульовому полі. Матеріал $Pb+6,3 \text{ ат. \% } In$; температура 1,2 К; форма зразка – циліндр завдовжки 60 мм, діаметром 4 мм; магнетне поле паралельне до осі циліндра. Збільшення у 8300 разів. (За В. Ессманом)

Фізична причина різної поведінки надпровідників першого і другого роду в магнетному полі полягає у відмінностях поверхневих енергій нормальної і надпровідної фаз. Якщо $\lambda > \xi$, то при локальному перевищенні критичного поля зразок переходить у проміжний стан. За цим критерієм, мейснерівська і шубніківська фази співіснуюти не можуть, тобто проміжний стан, в якому надпровідною фазою є шубніківська, заборонений. Насправді з'ясувалося, якщо ξ і λ співмірні, наведений критерій неточний, бо насправді цей дивний проміжний стан існує (рис. 7).

Як видно, гетерофазний стан, в якому співіснують мейснерівська і шубніківська фази, насправді можливий.

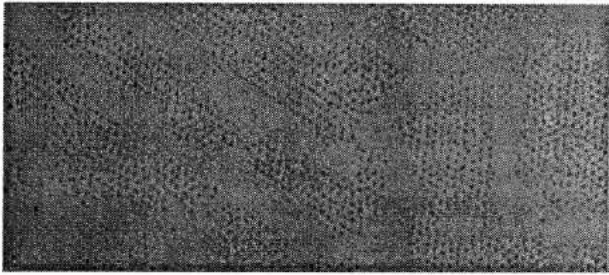


Рис. 7. Співіснування мейсснерівської і шубніківської фаз у надпровіднику другого роду з $\kappa = 1/\sqrt{2}$, $\kappa = \lambda/\xi$. Матеріал $Pb+1,89 \text{ ат.}\% \text{ Tl}$; $x = 0,73$; $1,2 \text{ K}$; форма зразка – диск діаметром 2 мм і завтовшки 1 мм ; зовнішнє поле $B = 365 \text{ Гс}$; збільшення у 4800 разів. Такий проміжний стан можна одержати на зразках з відмінним від нуля коефіцієнтом розмагнічування (За В. Ессманом)

Калориметричне виявлення антиферомагнетного переходу у хлоридів групи заліза стало віхою у фізиці магнетизму. Чим же ці матеріали цікаві? У них Нейль виявив особливості магнетної сприйнятливості нижче від температури Кюрі. Він висунув припущення про природу цього явища, а Ландау побудував феноменологічну теорію антиферомагнетного переходу, у якій була отримана температурна залежність магнетної сприйнятливості. Проте візитною карткою фазових переходів є особливості у поведінці теплоємності. На рис. 8

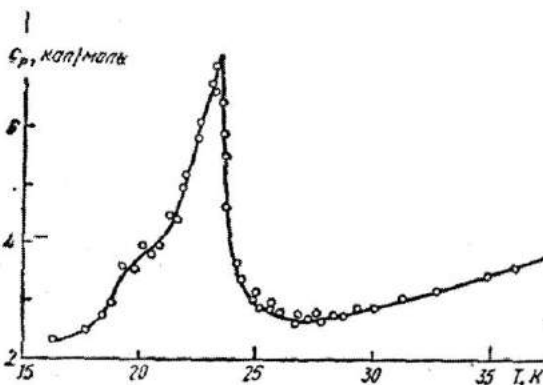


Рис. 8. Аномалія теплоємності хлористого заліза. Видно слабкий додатковий пік нижче від температури Кюрі, зумовлений антиферомагнетним упорядкуванням. (O.N. Trapeznikova, L.W. Schubnikow. Nature. 1934. 134. 378–379)

зображено результати експериментальних досліджень, які провели О. Трапезнікова з Л. Шубніковим.

Правий пік з боку високих температур характерний для точки Кюрі ($T = 24 \text{ K}$). Поблизу температури 20 K з'являється ще один пік; він слабший, але добре виражений. Бачимо, що те, що Нейль виявив за допомогою магнетних вимірювань, насправді є фазовим переходом. Л. Ландау дуже підтримував цю працю. У його теорії антиферомагнетизму вже окреслювалися контури його відомої феноменологічної теорії фазових переходів другого роду.

За цими працями з'явилися інші дослідження фазових переходів у метані під тиском. Вже при невеликих тисках 2000 атм О. Трапезнікова, Г. Мілютін і Л. Шубніков виявили у метані так званий другий фазовий перехід, що спостерігався у дейтерованому метані, але у звичайному метані при низькому тиску не спостерігався. Екстраполюючи отримані дані в ділянку нижчих тисків і температур, автори зробили припущення, що в метані є другий фазовий перехід при гелієвих температурах.

Одними з останніх результатів, які отримали Борис Лазарев і Лев Шубніков, було виявлення ядерного парамагнетизму твердого водню. Цей експеримент був ініційований міркуваннями, які висловили П. Дебай і Я. Дорфман про те, що в конденсованому стані можна виявити ядерний парамагнетизм. Парамагнетизм ядер дуже слабкий. Його легко виявити, вивчаючи рух йонів (наприклад, протонів) у неоднорідному магнетному полі, як це зробили Штерн, Фріш і Естерман 1933 року. Але в конденсованому стані, де електронні стани роблять значний внесок у магнетну сприйнятливості і колективні ефекти не малі (згадаймо вісмут), а ядра через взаємодії також можуть виявитися в стані з нульовим сумарним спіном (як у молекулах ортоводню), сподіватися на виявлення цього ефекту можна було лише у стані піднесеного оптимізму та будучи впевненим у спроможності виконання дуже складних експериментів. Б. Лазарев на той час працював у Свердловську, де спілкувався з Дорфманом. Лев Шубніков створив йому належні умови (1934) для проведення цих досліджень і сам був їхнім активним учасником. Експериментальна установка, яку вони створили, зображена на рис. 9. Угорі – терези Гю, на

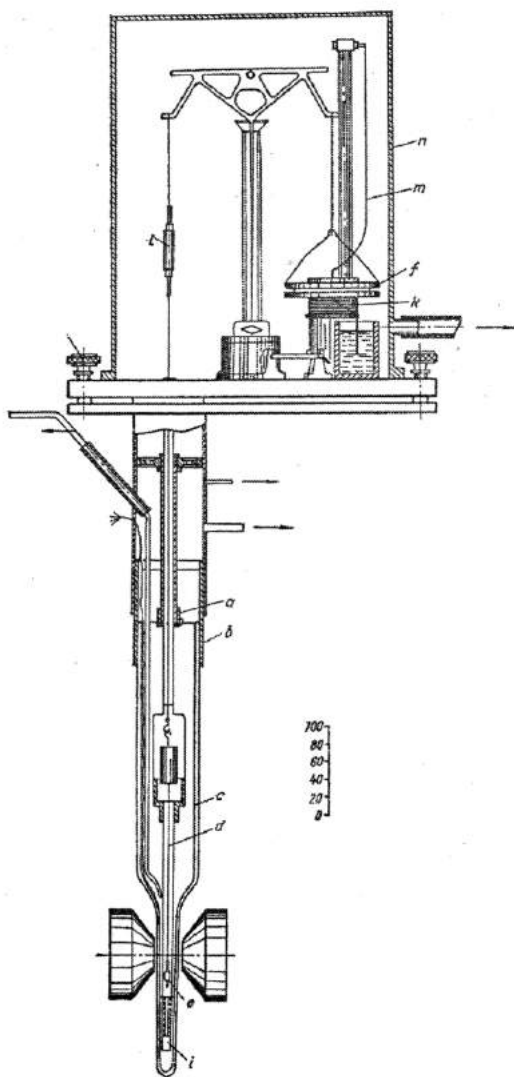


Рис. 9. Установа для вимірювання парамагнетизму водню (Б.Г. Лазарев, 1935–1936)

лівому коромислі яких закріплена посудина. У ній при гелієвих температурах утворюється твердий водень. Водень надходить по капіляру, охолоджується, і в нижній частині утворює твердотільний водневий стовпчик. Магнетне поле з напруженістю майже 20 кГс між наконечниками в центрі, має сильний градієнт у напрямку осі посудини. Якщо водень намагнетиться завдяки орієнтації спінів ядер за полем, то він втягуватиметься в ділянку сильнішого магнетного поля і, відповідно, ліве коромисло підніматиметься. Вимірюючи силу, яка діє на ліве коромисло під час увімкнення магнетного поля, можна виміряти ядерний парамагнетизм водню.

Ця праця від постановки задачі, створення установки та проведення вимірювань викликає захоплення і естетичне задоволення.

Вимірний магнетний момент протона дорівнював 2,7 ядерного магнетона, в досліді Штерна–Фріша–Естермана він дорівнював 2,5, а сучасне значення – 2,79. Ці цифри свідчать, на якому високому рівні виконана ця робота.

Трагічний кінець Лева Шубнікова перервав потік його видатних відкриттів. Нам залишається лише жаліти про це, захоплюватися його науковими результатами і гордитися тим, що більшість з них були отримані у Харківському фізико-технічному інституті.

Про життєвий та творчий шлях Лева Шубнікова читайте в статті Ю. Ранюка „Лев Шубніков, сторінки життя” („Світ фізики”. 2002. № 1. 18–20).

Наприкінці травня 2002 р. у Польщі відбулася конференція, присвячена 130-річчю від дня народження відомого фізика зі світовим ім'ям Мар'яна Смолюховського, яку організували Інститут фізики Ятеллонського університету ім. М. Смолюховського, Польська Академія наук і мистецтв та інші.

Мар'ян Смолюховський народився 28 травня 1872 року поблизу Відня. Учений розпочав свою наукову кар'єру в лабораторії Г. Ліпмана (Париж, 1895–1896), лорда Кельвіна (Глазго, 1896–1897), Е. Варбурга (Берлін, 1897).

24 серпня 1899 року М. Смолюховський переїхав до Львівського університету і обійняв посаду асистента. Після смерті професора Оскара Фабіяна, Мар'ян Смолюховський став завідувачем кафедри теоретичної фізики Львівського університету як наймолодший професор в Австро-Угорській імперії. 1906 р. – деканом філософського факультету.

9 травня 1913 р. очолив кафедру теоретичної фізики Ятеллонського університету в Кракові, 1916 р. – деканом філософського університету, 1917 р. – ректором цього ж університету. Основні наукові здобутки учений зробив у Львівському університеті. Помер М. Смолюховський 5 вересня 1917 року у 45-річному віці.

Детальніше про цього видатного ученого та його наукові здобутки читайте у наступному числі журналу „Світ фізики”.



До 80-річчя від дня народження
Івана Прохоровича Запісочного

ШЛЯХ У НАУКУ*

Отто Шпеник,

член-кореспондент НАН України, професор

Анатолій Завілопуло,

доктор фіз.-мат наук,

Інститут електронної фізики НАН України

У травні 2002 року виповнилося 80 років від дня народження видатного українського вченого, одного з фундаторів фізичної науки на Закарпатті, почесного громадянина Ужгорода, доктора фізико-математичних наук, професора Івана Прохоровича Запісочного.

Народився Іван Прохорович Запісочний 12 травня 1922 р. у селі Митьки на Черкащині, а 1941 року закінчив з відзнакою середню школу в м. Воронежі. Навчаючись у молодших класах, виявив непогані художні здібності, любив малювати, але згодом зацікавився технікою, навчився працювати з різними приладами та інструментами. Так виявилися перші паростки майбутнього фізика-експериментатора!

З грудня 1944 року Іван Запісочний – на війні. Командиром кулеметного розрахунку пройшов він шляхами Румунії, Югославії та Угорщини. Під час наступу на Відень його було важко поранено і після тривалого лікування звільнено в запас як інваліда війни.

Із 1945 до 1950 років Іван Прохорович навчається на фізичному факультеті Воронежського університету, а у 1950–1953 роках – в аспірантурі при кафедрі оптики Ленінградського університету. Його науковим керівником був всесвітньо відомий спектроскопіст, член-кореспондент АН СРСР С.Е. Фріш. Восени 1953 року Іван Прохорович успішно захистив кандидатську дисертацію і його скерували на роботу в Ужгородський університет, де з притаманною йому енергією й ентузіазмом

він розпочав свою трудову діяльність, пройшовши шлях від старшого викладача кафедри загальної фізики, завідувача кафедри до декана фізичного факультета.

На початку 1950-х років на фізичному факультеті активно відбувся процес формування наукових напрямів і шкіл. І. Запісочний започаткував і розвинув науковий напрям, який тепер називають атомною і молекулярною фізикою. 1957 року він створив і очолив кафедру оптики, а 1968, у зв'язку з бурхливим розвитком фізики лазерів, – кафедру квантової електроніки зі спеціалізацією радіофізика. Водночас він був організатором і науковим керівником першої в Ужгородському університеті проблемної науково-дослідної лабораторії фізики електронних зіткнень. 1967 року І. Запісочний успішно захистив докторську дисертацію у Ленінградському фізико-технічному інституті АН СРСР ім. А.Ф. Йоффе, і згодом йому було присвоєно вчене звання професора.

Наукова школа, яку створив І. Запісочний, і дослідження її представників були відомими не тільки на теренах колишнього СРСР, а й за кордоном, завдяки чому Ужгород став науковим центром з атомної фізики. Тут проводилися всесоюзні конференції, школи і семінари, його свого часу відвідали вчені зі світовими іменами: академіки Л.А. Арцимович, М.В. Келдиш, В.О. Фок, Г.М. Флеров, Б.Є. Патон, В.І. Трефілов, В.Г. Бар'яхтар член-кореспондент АН СРСР С.Е. Фріш. Безпосередня допомога цих людей, оцінка важливості наукових досліджень, якими керував І. Запісочний, створили передумови для заснування самостійного інституту з проблем фізики електронних і атомних зіткнень. 1988 року було розпочато будівництво

*Під цією ж назвою вийшла книга спогадів: І.П. Запісочний. Шлях у науку. Спогади. – Ужгород: „Мистецька лінія”, 2002. – 70 с.: іл.



*Творча робота у домашньому кабінеті.
1970-ті роки*

во, а 1992 року – відкрито перший на Закарпатті академічний заклад – Інститут електронної фізики Академії наук України. Мрія Івана Прохоровича здійснилася.

І. Запісочного по праву вважають одним з піонерів прецизійних експериментальних досліджень з електронними пучками високої (навіть рекордної) моноенергетичності, що дало йому змогу вперше виявити тонку структуру на функціях збудження атома ртуті. Цей експеримент слід вважати важливою віхою у дослідженні властивостей атомів і молекул. Результати цієї роботи були опубліковані у співавторстві з С.Е. Фрішем у „Докладах Академії Наук СРСР” (1954), і посилання на цю працю досі можна знайти у найновіших наукових оглядах і монографіях. Слід зазначити, що ця робота стала підґрунтям для проведення подальших експериментів в умовах пучків, що перетинаються, перші з яких було виконано саме під керівництвом І. Запісочного. Завдяки зусиллям та цілеспрямованій роботі Івана Прохоровича в Україні створено наукову школу світового рівня в галузі атомної фізики і квантової електроніки, до головних напрямів фундаментальних і прикладних досліджень якої можна віднести:

- атомну спектроскопію у ВУФ та УМР діапазонах спектра;
- фізику елементарних процесів під час зіткнень ультрамоноенергетичних електронів з атомами, молекулами та йонами;

- нелінійні й атомні процеси під час взаємодії лазерного випромінювання, електронних і йонних пучків з вільними атомами і поверхнею твердих тіл;

- фізичні процеси й кінетику заселеності в активних середовищах лазерів на парах металів і ексимерних молекулах;

- розробку і створення нових газових лазерів у видимій і УФ областях спектра, створення нових оптичних матеріалів квантової електроніки.

Наприкінці 1981 року на базі відділів фото-ядерних процесів і теорії гадронів Інституту ядерних досліджень АН України та новостворених відділів електронних і йонних процесів Іван Прохорович заснував Ужгородське відділення інституту ядерних досліджень АН України і став його керівником. У 1984–1988 роках в Ужгороді було побудовано лабораторний корпус. Наукові здобутки колективу фізиків в Ужгородському відділенні інституту ядерних досліджень АН України створили передумови для відкриття 1992 року першого на Закарпатті академічного інституту – Інституту електронної фізики НАН України. Іван Прохорович із 1988 року і до виходу на пенсію (1999) був головним науковим співробітником цього інституту, плідно працював на науковій ниві, активно займався формуванням нових наукових напрямів та підготовкою кадрів.

Іван Запісочний був прекрасним експериментатором, який добре відчував сучасні тенденції методики фізичних досліджень, блискучим організатором і стратегом, що бачив перспективи розвитку науки, визначальні напрями її прогресу. Він завжди прагнув зосереджуватись на найскладніших і найглибших проблемах атомної фізики, ніколи не відступав перед труднощами.

Формування і створення наукової школи світового рівня в галузі фізики електронних і атомних зіткнень, квантової електроніки, створення академічного інституту в Ужгороді стали головним результатом науково-організаторської діяльності професора І. Запісочного. Найвиразнішою рисою його діяльності було вміння знаходити і залучати до науки здібну молодь, бачити таланти і сприяти їхній реалізації.



Творча і наукова спадщина І. Запісочного – це понад 300 наукових праць, 2 монографії, 12 винаходів, але головне – він підготував 43 кандидати і 10 докторів наук. Серед його учнів – багато відомих людей, працівників освіти і науки, визнаних спеціалістів з фізики, професорів, членів-кореспондентів і академіків. Івана Прохоровича високо шанувати видатні учені, підтримували його здобутки, схвально оцінювали його наукову та педагогічну діяльність.

Про широке визнання заслуг Івана Прохоровича свідчить те, що його було обрано членом багатьох наукових рад союзної та української академії наук, він неодноразово очолював оргкомітети всесоюзних і міжнародних конференцій, був членом Американського фізичного товариства, впродовж багатьох років очолював Закарпатське фізичне товариство. 1985 року йому було присуджено почесне звання “Заслужений діяч науки України”, 1994 року разом з учнями він отримав премію Академії наук України ім. К.Д. Синельникова, а 1995 року – Державну премію України у галузі науки і техніки. Тричі розпорядженням Президента України йому призначалася Державна стипендія як видатному діячеві в галузі науки. Він нагороджений орденами „Слави III ступеня” та „Вітчизняної війни I ступеня”, а також медалями „За взяття Будапешта”, та „За Перемогу над Німеччиною у Великій Вітчизняній війні 1941–1945 рр.”, багатьма ювілейними медалями, грамотами та дипломами.



І. Запісочний, О. Шпенік (1998)

Незадовго до смерті Іван Прохорович, важко хворий, завершив роботу над книгою спогадів, символічно названою „Шлях у науку”.

З нагоди 80-річного ювілею ученого, в Інституті електронної фізики встановлено пам’ятну таблицю на честь фундатора інституту.

Івана Прохоровича немає серед нас, та залишилися вірні його світлій пам’яті учні, які продовжуватимуть справу його життя, зберігатимуть у своїх серцях добру згадку про незабутнього Вчителя, Колегу і Наставника.

Іван Прохорович Запісочний помер 5 серпня 2001 р.

„Я народився у хатині під солом’яною стріхою і земляною долівкою у родині Прохора Васильовича і Антоніни Петрівни Запісочних.”

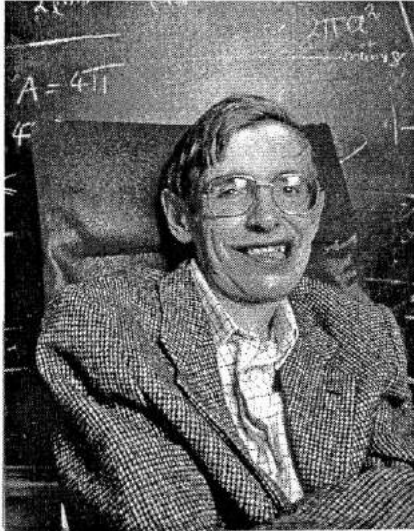
„...При розподілі на роботу випускників аспірантури Ленінградського університету, я вибрав Ужгородський університет. І ось уже майже піввіку живу і працюю у цьому прекрасному куточку незалежної і соборної України. Мені дуже приємно, що в Ужгороді, на його центральному майдані, кілька років тому встановлена велична скульптура мого земляка, духівника українського народу Тараса Григоровича Шевченка.”

(Із книги І.П. Запісочного „Шлях у науку. Спогади”. – Ужгород: Мистецька лінія, 2002. –70 с.: іл.)

Нещодавно учені Інституту електронної фізики НАН України А.Завілопуло, Є. Ремета, О. Снігурський, О. Шпенік присвятили свою монографію „Метастабільні атоми та молекули” Іванові Прохоровичу Запісочному, яка вийшла друком у видавництві „Євросвіт” наприкінці 2001 р.



До 60-річчя
від дня народження



Феномен Стівена Гокінга

*Його називають живим класиком науки, чий
ідеї за значущістю співмірні хіба що
з теорією Айнштейна*

Стівен Гокінг давно став легендою, людина, якій лікарі сорок років тому передбачали не більше двох років життя, який не може ані рухатися, ані говорити. Сам учений писав, що якщо не зважати на його хворобу (бічний аміотрофічний склероз), то у всьому іншому йому щастило.

Розповідати про Гокінга можна багато, оскільки його життя насичене неймовірними подіями, але найкраще розповісти про його ідеї. Це точніше покаже нам світ, у якому живе свідомість Гокінга, а отже, і він сам...

Стівен Гокінг народився 8 січня 1942 року у сім'ї лікаря. У десять років хлопця віддали вчитися до приватної школи у Сент-Олбансі, відомої своїми академічними традиціями і добрими умовами для розвитку здібностей у дітей. С. Гокінг продовжив навчання в Університетському коледжі в Оксфорді. Згодом він вступив до аспірантури у Кембриджі. 1962 року С. Гокінг зустрів на вечірці Джейн Вайлд, яка незабаром стала його дружиною. Уже тоді він відчував якусь незручність у руках. Обстеження лікарів дало невтішні результати: рідкісне і невиліковне захворювання – бічний амфіотрофічний склероз. Ця страшна хвороба нещадно руйнує тіло. Лікарі прогнозували йому два роки життя. Одруження з Джейн призупинило розвиток хвороби. У нього з'явилося те, ради чого варто було жити.

Відтоді Гокінг почав інтенсивно працювати. Цьому сприяла співпраця з молодим математиком Роджером Пенроузом, який працював над проблемою сингулярності. Гокінгові раптово спало на думку застосувати гіпотезу Роджера до космологічних моделей Всесвіту. Ця мить інтелектуального прозріння дала йому змогу перетворити дисертацію у вагому наукову працю, яка зробила ученого відомим.

Однак хвороба прогресувала, і Гокінгові стало важко розмовляти, його доповіді на конференціях робили колеги. Наприкінці 1960-х років учений змушений був замінити милиці на інвалідний візок.

Гокінг мав чудову пам'ять, про яку ходили легенди. Наприклад, працюючи із секретарем, учений через добу з пам'яті згадав дрібну помилку, яку допустив у тексті обсягом сорок сторінок.

Фізики усього світу стали обговорювати праці Гокінга про те, що чорні діри не лише випромінюють радіацію, а й за певних умов можуть вибухати. Хтось з учених назвав ці праці найважливішими досягненнями теоретичної фізики за багато років.

Його дружина сама виховувала трьох дітей, вела домашнє господарство і доглядала за чоловіком. Але вже з 1980 року ученому потрібен був постійний професійний догляд.

1985 року Гокінг продовжив свої дослідження в Європейському центрі ядерних досліджень (ЦЕРН). Там він важко захворів, і лікарі, щоб врятувати його життя, зробили операцію, результатом якої стало те, що він вже ніколи не зможе говорити.



Сім'я не мала коштів, які потрібні були на лікування та догляд за хворим. Тому його дружина писала багато листів у різні благодійні організації з проханням допомогти. Деякі фонди відгукнулися позитивно, та найбільше допоміг Волт Волтош, американський фахівець з комп'ютерів, який сконструював для ученого комп'ютер, що давав змогу Гокінгу говорити. Учений незначними мускульними зусиллями на пульті керує синтезатором мови, що відтворює його слова. Так Гокінг знову отримав змогу читати лекції.

Однак матеріальний стан сім'ї надалі був складним. І тоді учений вирішив написати книгу про космологію. Книга „Коротка історія часу” про створення Всесвіту, взаємодію простору і часу була написана ще на початку 1984 року, а вийшла друком лише навесні 1988 року. Вона видана десятимільйонним накладом і перекладена на сорок мов світу. Так учений став відомим і багатим.

Гокінг зіграв роль в епізоді фільму „Зоряний перехід у майбутнє покоління”, бере участь у науково-фантастичних фільмах, рекламі, серії мультфільмів „Сімпсони”.

Стівен Гокінг насамперед став відомий своїми дослідженнями у галузі космології, теорії відносності, гравітації і квантової механіки. Він має 12 почесних ступенів університетів багатьох країн, є членом Британського наукового королівського товариства і Академії наук США. Він нагороджений багатьма преміями та медалями.

Його дружина Джейн повністю присвятила своє життя Стівену, вона доглядала його, коли він був маловідомим фізиком, боровся з хворобою і робив кар'єру. Що більше ставав відомий учений, то більше з'являлись розбіжності у сім'ї. Коли ж прийшли слава і успіх на світовому рівні, їхні шляхи розійшлись.

Однією з причин були й релігійні розбіжності. Гокінг майже відкидав існування Бога, водночас Джейн була вихована у християнському дусі.

„Ми всього лише маленькі істоти на невеличкій планетці біля пересічної зорі на далекій околиці однієї із сотень тисяч мільйонів галактик, – говорив він, – тому важко повірити в якогось Бога, який би турбувався про нас або просто знав би про наше існування”. Джейн допускає, що погляди Стівена зумовлені насамперед його фізичним станом. „Усі картина життя для нього, майже повністю паралізованого генія, настільки

відрізняється від тієї, що є для інших, що ніхто не в стані зрозуміти, як насправді він відноситься до Бога чи як будуються його взаємовідносини з ним”, – зазначила Джейн.

Розрив батьків боляче сприйняли діти, передусім найменший син Тімоті, якому було лише 11 років. Емоційно переживав це і Гокінг, особливо якщо йому співчували знайомі, не думаючи про те, що людина, яка має інтелект, відмінний від їхнього, може жити почуттями, мріями і сподіваннями, властивими усім людям.

Після 25 років сімейного життя Стівен Гокінг залишив сім'ю і пов'язав своє життя з Елейн Мейсон, яка доглядала ученого впродовж останніх років та постійно супроводжувала його в зарубіжних відрядженнях. Академічне товариство у Кембриджі було шоковане не менше, як увесь світ.

Повністю прикутий до інвалідного візка, нездатний написати ані рядка, ані промовити жодного слова, Гокінг друкує свої повідомлення на клавіатурі, а електронна апаратура озвучує його слова. Багато років Гокінга оточують уважні студенти, які ловлять кожне його слово і записують кожну думку. Так для Гокінга реалізується змога самовиразитися, що допомагає йому вижити і вже понад тридцять років зберігати ясний розум.

Деякі колеги говорять, що Гокінг не стільки творить науку, скільки популяризує її, і вважають, що Нобелівської премії він не отримає. Книга „Коротка історія часу” мала фантастичний успіх. Вона повністю змінила обличчя науково-популярної літератури. Зайдіть у будь-який книжковий магазин у західній державі – там величезні наукові відділи. Величезний попит на цей жанр літератури йде від 1988 року, коли побачила світ книга Гокінга.

Восени 1973 року Стівен Гокінг, намагаючись дослідити квантові властивості чорних дір – гравітаційних лійок, у які безслідно зникає матерія та енергія Всесвіту, він сам того не чекаючи, відкрив, що чорні діри можуть випромінювати промені, щобільше, вони можуть навіть вибухати, викидаючи гігантські кількості енергії і матерії.

Переконавшись у своїх результатах, учений опублікував працю у журналі „Nature”, під заголовком „Black Hole Explosions?”. Відтоді минуло майже тридцять років, але парадоксальні висновки Гокінга, що суперечать класичній теорії чорних дір, так і не спростовані.



У термодинаміці ентропією називають міру втраченої енергії або ж міру хаосу, а крім того, в кібернетиці ентропія є мірою інформаційної ємності системи, тобто кількістю бітів інформації, що описують її внутрішній стан.

Праця Гокінга показує, що поверхня чорної діри завжди лише збільшується, і якщо йти за гіпотезою Бекенштайна, то другий закон термодинаміки, який твердить, що ентропія закритої системи – це зростаюча функція, не порушується.

З іншого боку, звертаючись до класичної фізики, будь-який ентропійний об'єкт характеризується температурою, а отже, має випромінювати у певній ділянці спектра. Якщо чорна діра нічого не випромінює, це означає, що у неї немає температури, а отже, немає й ентропії.

Ця суперечність зникла після того, як Гокінг увів в айнштайнівську модель чорної діри квантову невизначеність, і діри почали випромінювати й емітувати частинки!

Була ще одна проблема. Теорія Гокінга передбачає, що випромінювання чорної діри має випадковий характер. Як наслідок, все, що потрапляє у чорну діру, повністю зникає, незалежно, чи це – слон, зоря чи телепередача. Наприкінці 1970-х років Гокінг у своїх працях називає чорні діри знищувачами інформації, які вносять невизначеність, „підривають” закони і порядок у Всесвіті.

Висновки Гокінга – є порушенням основ квантової теорії, яка стверджує, що завжди можна „прокрутити” події у зворотний бік і добратися до початку сюжету. Дивна, „далека від здорового глузду”, квантова теорія, однак є фундаментом наукового світогляду, а її застосування можна знайти всюди. Крім того, це просто універсальна мова сучасної науки. Та якщо Гокінг має рацію, то квантову теорію доведеться переглянути.

Після опублікування відомої праці Гокінга, думки фізиків розійшлися. Фахівці з елементарних частинок, наприклад, фізик зі Стендфордського університету Леонард Зюскінд чи Герардус Гуфт із Утрехтського університету (лауреат Нобелівської премії 1999 р.) захищаючи квантову теорію, доводять, що інформація якось має зберігатися у чорній дірі, можливо, вона закодована в параметрах самого „випромінювання Гокінга”. Інша версія: інформація залишається у вигляді деяких нових елементарних частинок, які з'являються під час випаровування чорних дір.

Л. Зюскінд і його однодумці вважають, що насправді ніщо ніколи не потрапляє „всередину” чорної діри, всі процеси відбуваються біля її поверхні, де час сповільнюється, і для спостерігача з боку все зникає, „заморожується”.

Інформаційний парадокс змусив фізиків вийти за межі термодинамічних аналогій і підрахувати реальне значення ентропії та інформаційної ємності чорних дір.

За відомою формулою Больцмана, ентропія системи визначається кількістю перестановок. Щоб визначити ентропію чорної діри, треба знати, що ж саме всередині неї. У середині 1990-х років у фізиків був для цього єдиний інструмент – теорія струн, яка давала моделі елементарних частинок і сил, включаючи гравітацію.

За цією теорією, чорна діра складна мішанка струн і багатомірних мембран. Віртуозна побудова, яку 1995 року зробили учені з Гарвардського університету Е. Стромінгер і К. Вафа, дещо прояснила властивості „екстремальної” чорної діри, у якій електричні сили утворюють баланс з гравітаційними. Така квазістатична чорна діра не випаровується і дає змогу дослідникам вираховувати її квантові стани. Розрахунки підтвердили теорії Гокінга і Бекенштайна, показавши, що ентропія чорної діри пропорційна до площі її поверхні. Отримання цього результату стало справжнім тріумфом теорії струн.

Досягнення цих учених підштовхнули інших фізиків досліджувати чорні діри методами квантової механіки. Ці учені вважають, що інформаційний парадокс Гокінга розв'язаний, інші, серед них і сам Стромінгер, – переконані, що нічого так і не з'ясовано.

Ще фантастичнішим наслідком теорії чорних дір, за Гокінгом, є ідея голографічного Всесвіту. У 1980-х роках, намагаючись розширити теорію, свою і Гокінга, професор Бекенштайн показав, що інформація, потрібна для опису будь-якого об'єкта, обмежена його зовнішньою поверхнею. Інше пояснення Бекенштайна таке: ентропія – міра інформації, яка поміщається в об'єкті.

Цей висновок нетривіальний. Вважають, що сукупність ступенів свободи внутрішнього стану об'єкта співрозмірна з сукупністю точок в об'ємі об'єкта. Згідно з обмеженням Бекенштайна, кількість можливих станів дорівнює кількості точок на зовнішній поверхні об'єкта. Точками у фі-



Матерія зорі захоплюється чорною дірою

зичній теорії називаються зони з розмірами планківської довжини, тобто майже 10^{-33} см. Теоретично кожній з таких точок може бути присвоєне значення 1 чи 0 як у записувальних пристроях комп'ютерів. Отже, інформація про об'єкт будь-якої розмірності не перевищує того, що можна записати всередині його оболонки.

Учений із Каліфорнійського університету Р. Буссо розміркує, що ж відбудеться, якщо в об'єкт заштовхнути більше інформації, ніж він може вмістити? І відповідає: накопичується все більше і більше енергії, об'єкт стає дуже важким для своїх розмірів, і виникає чорна діра. „Це ніби піаніно, на якому не слід натискати більше п'яти клавіш одразу, інакше воно зламається”.

Голографічний принцип, який уперше ввів Гуфт 1993 року і за рік удосконалив Зюскінд, означає, що якщо деякі з клавіш піаніно не використовуються, то насправді їх і немає. Тобто, за Буссо, „схема нашого піаніно правильна”.

Звичайні теорії, які фізика використовує для опису подій у просторі-часі, таємничо виявляються надлишковими. Ми бачимо світ так, як голограму: у нас немає інструментів, щоб розпізнати, чи дивимось ми на цілу тримірну картину чи на її шматки, що видаються точними копіями цілої.

Голографічний принцип, вважають фізики, можна застосувати до будь-якого простору-часу. Але вони не знають, як він працює.

Якщо інформація про те, що ми робимо і як живемо, запам'ятовується на окремих віртуальних скрижальях, то „виходить, що ми підкоряємось законам місцевої фізики? – запитує Гуфт і сам пояснює: – квантова механіка, звичайно, діє, але

вона ще і витісняється деякими законами природи, які фізики називають недалекими околицями”.

8 січня 2002 року у Кембриджському університеті відбулись читання „Майбутнє теоретичної фізики і космології”, присвячені 60-річчю професора Стівена Гокінга, на якому були присутні відомі фізики і математики.

До свого ювілею Стівен Гокінг приурочив видання скороченого варіанту книги, розрахованої на юних читачів. У передмові до неї він написав: „Звідки взявся Всесвіт? Як і чому він виник? Чи буде його кінець і яким він буде? Ці питання цікавлять нас усіх. Але сучасна наука дуже насичена математикою, і лише небагато фахівців досить добре володіють нею, щоб розібратися в цьому”.

Третє тисячоліття може бути останнім для людства, вважає відомий англійський учений Стівен Гокінг. „Я не думаю, що людству вдасться вижити ще тисячу років, якщо воно не вийде у космос”. На його думку, існування життя на єдиній планеті залежить від надзвичайно великої кількості випадковостей.

„Загибель цивілізації внаслідок атомної війни, яка лякала людей у другій половині двадцятого сторіччя не головна небезпека. У недалекому майбутньому мене більше турбує біологія, – вважає Гокінг. – Для виготовлення атомної зброї потрібні великі заводи, а генною інженерією можна займатися в маленькій лабораторії. За всіма такими лабораторіями у світі простежити не можна.”

„...На відміну від нашого інтелекту, продуктивність комп'ютерів подвоюється через 18 місяців, – сказав Гокінг, зіславшись на закон Мура. – Небезпека, що у них виникне інтелект, і що вони підкорять світ, реальна. З цього є лише два виходи: людині або потрібно подумати про штучне удосконалення своїх генів, або знайти спосіб, як об'єднати комп'ютери і людський мозок. Нам доведеться йти цим шляхом, якщо ми хочемо, щоб біологічні організми мали перевагу над електронними”.

Для ученого 60 років – це молодий вік, і Стівен Гокінг сподівається ще зробити багато відкриттів.

„Я б досяг бажаної мети якби дізнався, як створювався Всесвіт. Але я й досі не знаю, для чого він створювався”.

Галина Шопа

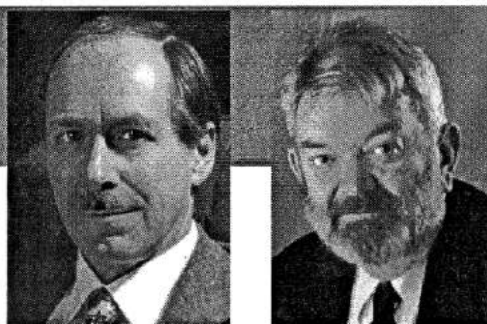


Шведська Королівська Академія Наук нагородила Нобелівською премією з фізики 1999 року Герардуса Гуфта (*Gerardus't Hooft*) і Мартіна Велтмана (*Martinus J.G. Veltman*) за пояснення квантової структури електрослабкої взаємодії. Учені отримали Нобелівську премію за внесок у розвиток теорії електрослабкої взаємодії, завдяки якому ця теорія стала працюючим фізичним методом, та за теоретичне передбачення наступних експериментальних відкриттів у фізиці високих енергій.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

1999

Ідеї об'єднання справджуються



Герардуст Гуфт Мартін Велтман

Учені на початку XIX сторіччя вважали, що в природі діють три різні й непов'язані між собою типи взаємодії: гравітація, електрика і магнетизм. Поступ у спрощенні такого погляду відбувся у 60-х роках XIX сторіччя, коли англійський фізик Джеймс Клерк Максвел довів, що електрика і магнетизм є виявами однієї й тієї ж фізичної сутності, відомої тепер як електромагнетне поле. Теорія Максвела дала змогу пояснити багато з того, що було загадковим і незрозумілим, наприклад, природу світла та передбачити умови генерації радіохвиль, що невдовзі було підтверджено дослідями Герца. Крім цього, ця теорія стала стимулом до створення загальнішої теорії взаємодій.

У першій половині XX сторіччя після відкриття атомного ядра фізики дізнались про існування ще двох взаємодій. Сильної, що утримує протони і нейтрони, утворюючи атомні ядра, і слабкої, що зумовлює радіоактивний розпад нейтронів з випромінюванням електронів і нейтрино. Однак сильна і слабка взаємодії відрізняються від раніше відомих взаємодій тим, що на відміну від гравітації та електромагнетизму мають обмежений радіус дії. Сильна взаємодія ефективна лише на відстанях не більших від радіуса атомного ядра, а слабка взаємодія ще на менших відстанях.

Майже за сто років після першого об'єднання взаємодій було здійснено спробу об'єднати електромагнетизм і слабку взаємодію, використовуючи так звану калібрувальну симетрію.

У побуті ми називаємо предмет симетричним, якщо не можемо його відрізнити від його дзеркального зображення. Фізики ж трактують поняття симетрії ширше, розглядаючи різні типи симетрії. Наприклад, поняття зарядової симетрії в електромагнетизмі означає, що взаємодія між частинками не зміниться, якщо всі від'ємні заряди замінити додатніми і, навпаки, всі додатні – від'ємними. Калібрувальна взаємодія властива фізичним співвідношенням, які залишаються інваріантними під час зміни масштабу. 1954 року Чжень-Нін Янг і Роберт Міллс, які працювали в Брукгейвській національній лабораторії (США), поширили принцип калібрувальної взаємодії на фізику сильної взаємодії. Їхні дослідження хоч і не стали працюючою теорією, але відкрили шлях для всіх наступних спроб з єдиного погляду описати фундаментальні взаємодії.

Використовуючи принцип калібрувальної симетрії, Шелдон Глешоу зробив спробу (1960) об'єднати електромагнетизм і слабку взаємодію. Цю спробу можна вважати вдалою, оскільки його



теорія об'єднала ці сили, ввівши у фізику поняття електро-слабкої взаємодії. Вона передбачила існування чотирьох частинок – носіїв взаємодії. Одну з них можна було ототожнити з фотоном – квантом світла, носієм електромагнетної взаємодії.

Решта частинок, позначені як W^+ , W^- і Z^0 – носії слабкої взаємодії. У теорії 1960 року всі бозони (таку назву отримали ці чотири частинки на честь індійського фізика Шат'єндраната Бозе) не мали маси, і саме це створювало труднощі для цієї теорії. З теорії взаємодій відомо, що радіус взаємодії обернено пропорційний масі частинки – носія, тому нульовій масі частинок відповідає безмежний радіус взаємодії. Так усупереч експериментальним фактам теорія Глешоу допускала безмежний радіус взаємодії не лише для електромагнетної, а й для слабкої взаємодії.

Застосована Глешоу калібрувальна симетрія привела й до інших незвичайних передбачень. Зрозуміло, якщо дві частинки взаємодіють електромагнетними силами, їхні електричні заряди не змінюються, оскільки фотон – носій такої взаємодії – не має електричного заряду. Однак у всіх відомих на той час слабких взаємодіях, здійснювалось перенесення електричного заряду: наприклад, розпад нейтрона породжує протон і електрон. Такі явища можна пояснити обміном W^+ , W^- бозонів із зарядами відповідно $+e$ і $-e$, але введення в теорію слабкої взаємодії нейтрального Z^0 бозона означало, що деякі слабкі взаємодії мають відбуватись без обміну зарядом, як під час електромагнетної взаємодії. Так було передбачено явище, яке отримало назву – слабкі нейтральні струми. Існування слабких нейтральних струмів у лептонних процесах уперше було виявлене 1973 року і це стало експериментальним доказом на користь об'єднаної теорії. Але ще раніше Глешоу намагався виправити головний недолік своєї теорії – безмежний радіус слабкої взаємодії, пустуюючи великі маси W^+ , W^- і Z^0 частинок, однак це приводило до суперечливих наслідків, наприклад, до безмежної інтенсивності деяких слабких взаємодій. Проблема масивних частинок розв'язав за декілька років Стівен Вайнберг і Абдус Салам, які застосували нові підходи.

Працюючи незалежно один від одного, Вайнберг і Салам 1967–1968 р. створили об'єднану теорію слабкої і електромагнетної взаємодії, яка теж

грунтувалась на калібрувальній симетрії, якою скористався Глешоу. Теорія Вайнберга і Салама також стверджувала існування чотирьох частинок – носіїв взаємодії, але, долаючи проблему маси частинок, автори застосували дуже важливий підхід – спонтанне порушення симетрії. Ще 1964 року П. Гітс та інші вчені показали, що в моделях з локаліним порушенням симетрії можна тримати масу калібрувального векторного поля.

Явище спонтанного порушення симетрії відоме у фізиці конденсованого середовища. Найпростіший приклад – спонтанна поява вектора намагнетченості \vec{M} у феромагнетиках за температур нижчих від точки Кюрі.

Отже, створена у 1960-х роках теорія електро-слабкої взаємодії стала великим кроком на шляху до створення об'єднаної теорії взаємодії, однак її практичне застосування для розв'язання конкретних проблем породжувало значні труднощі. Наприклад, намагаючись скористатись цією теорією для розрахунку властивостей нових W^\pm і Z частинок, учені отримували абсурдні результати. Тому багато з них песимістично дивились на майбутнє цієї теорії, і лише професор Утрехтського університету М. Велтман вірив, що ці труднощі тимчасові. Свої сподівання він пов'язував із застосуванням комп'ютерів до цієї проблеми. Наприкінці 1960-х років М. Велтман розробив комп'ютерну програму, яка використовуючи символи, виконувала алгебраїчне спрощення складних математичних виразів, до яких приводять всі квантово-польові теорії.

Мартін Велтман народився 27 червня 1931 року в місті Ваалвік на півдні Голландії. Його батько був директором початкової школи. В сім'ї було шестеро дітей, Мартін був четвертою дитиною. Закінчивши початкову школу, Мартін 1943 року продовжив навчання в середній школі. Він дуже добре вчився у початковій школі, але його успіхи в середній школі були посередні. Йому важко давались іноземні мови, на заваді навчанню було мабуть його захоплення радіоелектронікою. Втім М. Велтман не був зовсім пересічним випусником, якщо його викладач фізики спеціально зустрівся з батьками і рекомендував їм, щоб Мартін вступав до університету. Як зазначав сам М. Велтман, тоді з півдня Голландії мало хто продовжував освіту в університетах.



Так викладач фізики М. Велтмана вплинув на вибір його фаху, а ми можемо зазначити, що багато інших іменитих фізиків своїми успіхами теж завдячують доброму викладачеві фізики в середній школі.

Після закінчення університету М. Велтман викладав фізику в технічній школі, але ця робота його не приваблювала. 1955 року він став помічником професора Мічелса, який був експериментатором у галузі фізики високого тиску. Після трирічної служби в армії М. Велтман вступив до аспірантури, де зайнявся теоретичною фізикою. Його зацікавила фізика високих енергій, і 1961 року він перейшов працювати в ЦЕРНі. Там брав участь у нейтринних експериментах, займався теоретичним аналізом експериментів. 1966 року повернувся до Утрехту, зайнявши посаду завідувача кафедрою теоретичної фізики. Навесні 1969 року в дослідницький колектив, який очолював професор Велтман, прийшов 22-річний студент Герардус Гуфт, який теж вирішив зайнятись фізикою високих енергій.

Герардус Гуфт народився 1946 року в місті Ден Гелдер (Голландія), але дитинство провів у Гаазі. 1964 року він закінчив ліцей в Гаазі і вступив до Утрехтського університету. Восени 1969 року Г. Гуфт вступив до докторантури і отримав завдання шукати методи перенормування квантовопольової теорії. 1971 року він надрукував дві статті, що стали важливим етапом у програмі досліджень, які виконували науковці під керівництвом професора М. Велтмана. Г. Гуфт у цих працях показав, що загальні методи квантування без масового поля Янга-Міллса майже без змін переносяться на випадок спонтанного порушення симетрії. Тим самим він довів, що як у квантовій електродинаміці, усі нескінченності, які виникають під час розрахунків в електрослабкій теорії можуть бути усунені, тобто ця теорія перенормована.

Лише після появи праць Гуфта та Велтмана фізичне співтовариство визнало, що теорія електрослабкої взаємодії правильна і вона є стала працюючим фізичним методом, що дало змогу уточнити всі розрахунки спостережуваних величин.

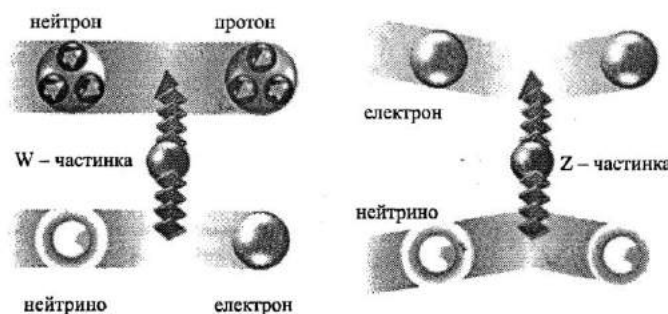
Грунтуючись на розрахунках Гуфта і Велтмана, на початку 1980-х років у ЦЕРНі (Женева) на щойно введеному у дію прискорювачі протон-антипротонних пучків (LEP) розпочався пошук W^{\pm} і Z бозонів. У серії експериментів виконаних у 1983–1984-х роках були відкриті ці бозони з масами $m_W = (81 \pm 2)$ Гев, $m_Z = (93 \pm 2)$ Гев, що добре узгоджувалось з передбаченнями теорії електрослабкої взаємодії.

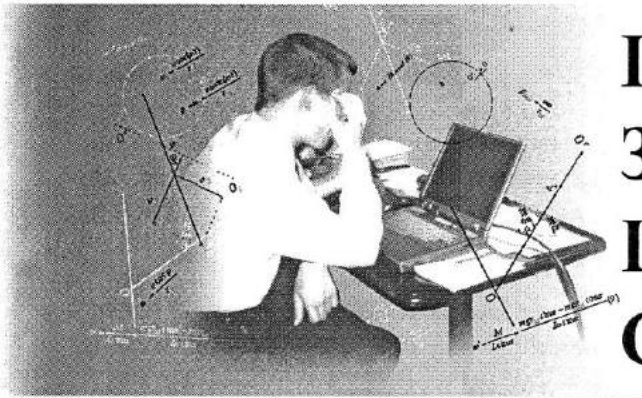
Пряме спостереження квантів слабкої взаємодії стало одним із найвидатніших відкриттів у фізиці високих енергій 1980-х років, а вчені, які це здійснили – К. Рубія та С. Ван дер Мер стали лавреатами Нобелівської премії з фізики 1984 року.

Ще одним важливим наслідком, який впливав з обчислень Гуфта і Велтмана, стало передбачення маси t -кварка – останнього (шостого) з третього покоління кваркової моделі. Його маса передбачалась більшою, ніж інших кварків. Цей кварк уперше безпосередньо спостерігався в експериментах, здійснених 1995 року в Лабораторії ім. Фермі у США, а його маса була досить точно передбачена ще декілька років перед тим.

Поки що неперевірено залишився ще один важливий компонент теорії Гуфта та Велтмана – бозон Гігса. Ця частинка як й інші передбачена теоретично, і тепер дослідники хочуть виявити її експериментально. Її пошуки вчені планують здійснити на Великому протонному прискорювачі (LHC) у ЦЕРНі, який мають ввести в дію 2006 року і дороговказом у цьому пошуку є праці Герардуса Гуфта і Мартіна Велтмана.

Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук





ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗМАГАННЯ ШКОЛЯРІВ СВІТУ

„ТЮФ – це частина світу фізики, якої не знайдете у книжках. Окрім того, це ще й багато нового, про що ми дізнаємось під час турнірів”

Яцек Волковіч,
учень Варшавського
фізико-математичного ліцею

XV Міжнародний турнір юних фізиків (МТЮФ) проходив в Україні, м. Одеса, з 21 до 30 травня 2002 року.

Журнал „Світ фізики” впродовж п’яти років відстежує цю форму роботи (турніри юних фізиків) з обдарованою молоддю: публікує інформацію про турніри, завдання, аналізує результати, популяризує їх серед школярів України.

До МТЮФ редакція журналу „Світ фізики” підготувала видання англійською мовою для ознайомлення учасників з різних країн світу з досягненнями фізики в Україні, українськими університетами, ученими. На конференції, що відбулася під час МТЮФ, була презентація журналу „Світ фізики”. Члени міжнародного журі та керівники команд ознайомились з нашим виданням, отримали для кожного учасника турніру журнал англійською мовою.

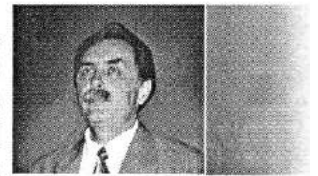
Науково-популярний журнал „Світ фізики” викликав велике зацікавлення серед учасників МТЮФу. Обговорення окремих тем, висвітлених у журналі, відбувалось впродовж усього турніру. Зокрема президент МТЮФ Г. Тібель, ознайомившись з публікаціями журналу, зазначив, що це дуже інформативне і цікаве видання. Він сам працював з Нобелівським лавреатом з фізики Жоржем Шарпаком і лише з нашого журналу дізнався, що відомий учений народився на українській землі.

Урочисте відкриття XV Міжнародного турніру юних фізиків відбувалось українською та англійською мовами. Учасників привітав начальник

управління освіти Одеської обласної держадміністрації Д. Демченко. Він сказав: „Наш регіон багатий на таланти та обдаровану молодь. З ним пов’язані такі видатні імена, як лавреат Нобелівської премії І. Мечніков, фізіолог І. Сеченов, учені – О. Богомолець, О. Бакай та інші. Я хотів би побажати Вам, юним фізикам, перемоги, незалежно від того, чи Ви займете призові місця – перемога вже в тому, що Ви зібралися разом. Я звертаюсь до журі: я б хотів, щоб Ви належно оцінили значущість цієї події, тут зібралась талановита молодь з усього світу. Дайте їм змогу відчувати, що вони можуть стати майбутніми Айнштайнами”.

Вітання Міністра освіти і науки України Василя Кременя виголосив заступник держсекретаря Григорій Науменко: „Щиро радий вітати Вас на гостинній українській землі. Наша держава завжди приділяла велику увагу обдарованій учнівській молоді – майбутньому України. Національна команда України бере участь у міжнародних турнірах юних фізиків і неодноразово здобувала призові місця. Атмосфера справжнього лицарського змагання, високий науковий рівень доповідей, коректне і шанобливе ставлення учасників один до одного, високий авторитет журі – це вирізняє міжнародний турнір юних фізиків. Кількість країн, команди яких беруть участь у турнірі цього року, найбільша. Я сподіваюсь, що дні, проведені в Україні, назавжди залишаться у Вашій пам’яті. Чудова українська природа, гостинна та доброзичлива атмосфера сприятиме успішному проведенню турніру. Бажаю Вам наукових перемог, нехай вам усміхнеться фортуна! Хай Вам щастить!”

Вітаючи учасників турніру, ректор Одеського національного університету ім. І.Мечнікова Валентин Сментина сказав: „Я хотів би наголосити, що наша





Під час відкриття турніру.
В.Колебошин, О.Паладій, Г.Тібель
(зліва направо). 21 трівня 2002 р. м. Одеса

одеська земля відома фізиками, починаючи ще з XIX сторіччя, згадаймо видатного фізика Шведова, який свого часу очолював наш університет, професора Умова, якого пам'ятає кожен фізик, видатне ім'я астрофізика Гамова, який народився в Одесі й починав навчатися в Одеському університеті, професора Фішера та інших. Сьогодні в Одесі є декілька відомих фізичних шкіл і тому особливо приємно вітати Міжнародний турнір юних фізиків саме в Одесі. Я бажаю кожному із Вас високих результатів”.



Президент Міжнародного турніру юних фізиків, професор Гуннар Тібель, звертаючись до учасників та гостей турніру, сказав: „Я радий вітати Вас в Україні. Ми приїхали сюди, бо всі цікавимося фізикою. Ми знаємо, що фізика – одна з найважливіших наук. Фізики проводять дуже багато важливих наукових досліджень. У цій галузі працює багато відомих учених, серед яких є чимало Нобелівських лавреатів. Ми завжди маємо пам'ятати, що фізика – це частина нашого життя.

Я хотів би навести деякі висловлювання:

„Електрика – це цікаво, але нею ніколи не можна буде скористатись на практиці.”

У 1930-роках говорили, що „атомна енергія – це дуже цікаво, але ми думаємо, що її ніколи не можна буде використовувати для практичних потреб”.

Ми бачимо, що дійсність значно випередила сподівання. Про це ми маємо пам'ятати, проводячи фундаментальні дослідження. Дуже важливо займатись фундаментальними дослідженнями, тому що в майбутньому їхніми результатами можна буде скористатись. Хай Вам щастить!”

Журнал „Світ фізики” був акредитований на МТЮФ. Наші кореспонденти мали змогу впродовж усього турніру спостерігати за творчими змаганнями, спілкуватись з членами журі, керівниками команд, школярами з усього світу та організаторами турніру.

Анджей Надольний, генеральний секретар МТЮФ, доктор наук, Інститут фізики Польської Академії наук



Які особливості проведення XV МТЮФ та перспективи турнірів у майбутньому?

У XV Міжнародному турнірі юних фізиків бере участь найбільше учасників. Цього року вперше приїхали учасники з Хорватії, Швейцарії. Майже в усіх європейських країнах вже проходив турнір, за винятком Білорусі та Болгарії. Останній ще не пропонуємо, бо ця країна має багато економічних проблем. 2003 року Міжнародний турнір юних фізиків проходило у Швеції; 2005 – плануємо провести в Австралії; 2004 – ми запропонували Білорусі, але відповіді ще не отримали. Дуже приємно, що маємо добру перспективу, до турніру долучається щораз більше країн.

Хто фінансує Міжнародний турнір юних фізиків?

Країна, у якій відбувається турнір, надає кошти на його проведення. Витрати на дорогу кожна команда шукає самотужки. Міжнародний організаційний комітет турніру юних фізиків неодноразово звертався до ЮНЕСКО (ця організація має відповідний фонд). Два роки тому ми навіть отримали позитивну відповідь, однак вже після турніру, і коштів ми прийняти не змогли, оскільки їх можна було використати лише на цей турнір.

2001 року ми знову звернулись до ЮНЕСКО, але відповідь отримали негативну. Та якщо і була б допомога, то вона незначна. Невеликі кошти надало Європейське фізичне товариство завдяки клопотанням президента МТЮФу професора Г. Тібеля.



Мацей Кольвас, член журі, голова Польського фізичного товариства, професор Інституту фізики Польської Академії наук

Звичайно, існує багато фондів, але вони не дуже охоче підтримують фізику, хоча турнір – це не лише фізика, це – спілкування, контакти. Ми маємо добру українсько-польську співпрацю. На турнірі в Україні ми зустріли багато людей, які доброзичливі, контактні, як і поляки.

Як проходять турніри юних фізиків у Польщі?

У Польщі ТЮФ проходить трьома етапами: перший – кореспонденційний, де беруть участь школярі з усієї країни, другий – крайовий етап. І на решті – фінал, який відбувається англійською мовою. У ньому беруть участь 5–6 команд, одна з яких і представляє Польщу на Міжнародному турнірі. За півроку до міжнародного турніру ми працюємо над розв’язками завдань. Це дає змогу школярам визначитись, чи варто їм займатись фізикою надалі. Фізика стає їхньою улюбленою справою і вибором майбутньої професії.



Ігор Анісімов, член журі, завідувач кафедри радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Як ви оцінюєте рівень XV МТЮФ?

Цей рух треба продовжувати, розвивати. Порівнюючи рівень міжнародного турніру із всеукраїнським, я хочу зазначити, що рівень всеукраїнських турнірів не поступається, принаймні його змістовна частина. Звісно, якщо говорити про оформлення, презентації, представлену апаратуру, записи тощо – на цьому турнірі це на такому рівні, що не завжди побачиш на солідних наукових конференціях.

Мені здається, що люди, які керують офіційними структурами і розподіляють кошти, ще не до кінця розуміють, наскільки ці речі потрібні й важливі. Рівень організації турніру високий, умови хороші, це зроблено насамперед титанічними зусиллями місцевого оргкомітету – колективом Ришельєвського ліцею м. Одеси.



Школярі з Кореї під час перерви обговорюють свої виступи

Йозеф Брестенський, член журі, професор, доцент кафедри геофізики факультету математики, фізики та інформатики університету імені Каменського у Братиславі.



Як організовані турніри юних фізиків у Словаччині?

Словацькі школярі займаються більше турнірами, ніж фізичними олімпіадами. Мотивація – на початку 1990-х років з’явилися кошти (гранти Сороса), і була змога організувати зустрічі школярів, турніри юних фізиків, а також на них туристичні екскурсії. Турніри проводили з фізики, математики, інформатики. Часто ті ж самі школярі зустрічались на всіх трьох турнірах. Через такі турніри наші школярі шукають шляху до інших культур.

До збірної Словаччини вибираються із різних команд сильні особистості. Торік вперше нашу команду запросили до Австрії і це дуже підвищило мотивацію учасників працювати над задачами турніру. Мені здається, що торік українська команда упустила шанс побувати на цьому турнірі. Центральноевропейські країни поряд, і варто було б зустрічатись частіше.

Чи словацькі школярі, які беруть участь у турнірах, й надалі займаються фізикою?

Я дуже радий, особливо в останні роки, що кількість школярів, які йдуть навчатися фізики і математики до університету ім. Каменського в Братиславі, збільшується, це тоді, коли загалом зацікавлення до цих дисциплін знижується. Багато

школярів їдуть вчитися у престижні університети світу, наприклад, Гарвардський. Такі турніри з фізики дають їм багато, незалежно від того, чи продовжують вони займаються фізикою, чи ні. Важливо, як підвищити мотивацію школярів до турніру. Такі турніри дуже корисні.

Яка перспектива розвитку цього руху, адже він виник з ініціативи окремих людей?

Перспективи чудові. Сама ідея турніру приваблює не лише дітей, а й дорослих. Порівняно з олімпіадами, для проведення турніру не потрібно так багато коштів. Навіть не всі уряди країн та суспільство знають, що щось таке цікаве існує. Це типово для різних країн.

Я думаю, що в Україні становище краще, люди, які задіяні в олімпіадах, працюють і на турнірах, це важливо. У багатьох країнах світу серед цих видів змагань є тиха конкуренція. В Україні на турнірах працюють професіонали, в інших країнах не завжди так. У Словаччині для проведення ТЮФу задіяні фахівці з різних галузей. Я, наприклад, геофізик.

Чи зацікавлені словацькі школярі публікувати свої праці у журналі „Світ фізики“?

Я захоплений журналом „Світ фізики“. Як представник маленької нації, словацької, я бачу, що порівняно з російською мовою, українська набагато ближча до словацької. Ви велика нація, яка має великі традиції у фізиці. У Словаччині також є багато науково-популярних журналів, але щодо тематичних, зокрема, з фізики, немає. Крім того, вони не виходять так часто, та й оформлення не

таке привабливе, як Вашого журналу. Мені подобається Ваш журнал тому, що там багато простих і зрозумілих формул, вони важливі, щоб висловити фізичні ідеї. Я бачу зацікавлення наших школярів писати до Вашого журналу, але є проблема з мовою. Нова генерація школярів вже не знає російської. Якщо публікувати англійською, то це спростить спілкування. Я впевнений, що їм буде цікаво.

Від рішень дорослих залежить багато, школярі сподіваються від нас, що ми знову організуємо для них турнір. Редакція журналу „Світ фізики“ публікує перші наукові праці школярів, популяризує це творче змагання школярів не лише в Україні, а й в усьому світі, щоб залучити до нього широкий загал, зокрема, й громадскість. Адже є багато талановитої молоді, яку варто було б залучити до цього змагання.

Це чудова ідея. Я бачу, що Україна – це „потужна фортеця“ популяризації фізики серед школярів та студентів. Організатори українських турнірів запропонували такі задачі, що більшість з них увійшла до міжнародного. Це дуже високий рівень. Я бачив, як виступала українська команда. Школярі добре розуміють фізику, але вони не мають достатнього досвіду це показати.

Турнір привабливий ще й тим, що дорослі й діти обмінюються між собою ідеями. А це майбутнє.

Ігор Колупаєв, керівник команди Харківського фізико-математичного ліцею № 27



Чого не вистачає у підготовці українській команді?

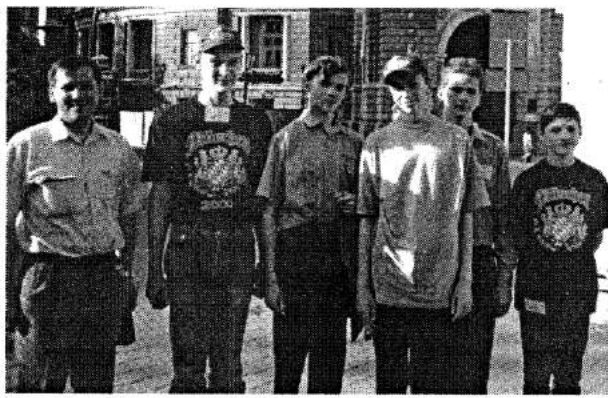
Ми готували наших дітей бути впевненими в собі. Ми впевнені, що український турнір не гірший від міжнародного. Однак це інша гра, не така, як українська. Українські школярі за рівнем підготовки не гірші від інших, це очевидно.

Декому з учасників нашої команди бракує знання англійської мови, англійської фізичної термінології. Наші школярі краще ліпше вміють вести дискусії, розуміють фізику. Порівнюючи з українським, де більше демократичності, на міжнародному – чіткий регламент, інші часові межі.

Наші школярі мало спілкуються з ровесниками з інших країн. Очевидно, потрібні поїздки, зустрічі, та це впирається в кошти. Можна український



Команда юних фізиків з далекої Австралії



Перша українська команда школярів з Харківського фізико-математичного ліцею. Ліворуч – керівник команди, заступник директора ліцею Ігор Ненашев на XV МТЮФ, 24 травня 2002 р., м. Одеса.

турнір наблизити до вимог міжнародного, наприклад, ввести презентації, проводити виступи англійською мовою.

Чи допомагають Вам готувати команду до турніру Міністерство освіти і науки України, адже потрібні кошти на підготовку школярів? У Харкові є відомі наукові школи, видатні фізики, чи допомагають вони Вам готувати школярів?

У Харківському фізико-математичному ліцеї є добрі традиції роботи з обдарованими школярами. Добра підмога – це українські турніри, спілкування із школярами Києва, Одеси, Львова.

Журнал „Світ фізики” – це теж допомога турнірові, добра інформаційна підтримка організаторам, особливо сьогодні – на Міжнародному.

Що дає школярам такий турнір?

Щодо самої фізики, то наш український ТЮФ дає не менше, а може й більше. Але тут вони мають змогу спілкуватися зі своїми ровесниками з різних країн світу. Турнір дає дуже багато не лише школярам, а й керівникам команд.

Куди йдуть вчитися Ваші школярі після закінчення Харківського фізико-математичного ліцею?

Багато з них вступають на фізичні спеціальності до Харківського національного університету, Московського університету, МФТІ, багато – на математичні чи комп’ютерні. Сьогодні фізика не так приваблює молодь, як колись, і якщо наші школярі обирають інші спеціальності, фізика все одно їм допомагає.

На урочистому закритті турніру президент МТЮФ доктор Гунар Тібель, зокрема, сказав: „Ми ознайомились з історією та культурою України, з її прекрасними надбаннями. Це було наше перше знайомство з цією країною. Ми всі разом, тому що ми любимо фізику. Фізика чудова не лише як така, вона стимулює розвиток інших наук. Ми можемо навести багато прикладів того, що фізика важлива у нашому житті. Дехто каже, що зараз починається новий етап у розвиткові цієї науки. Якби я зміг, я б продемонстрував Вам, що фізика перебуває у центрі всього.

Турнір був чудовий. На ньому найбільше учасників від часу його заснування. Для мене цей турнір має дуже велике значення. Це п’ятнадцятий Міжнародний турнір юних фізиків, я був присутнім на більшості з них. Мені завжди приємно дивитися, як вони організовані, і цей турнір, зокрема. Я дякую організаторам цього турніру в Україні, особливо хочу відзначити Валерія Колешіна за блискуче організований турнір. Бажаю успіхів усім учасникам!”

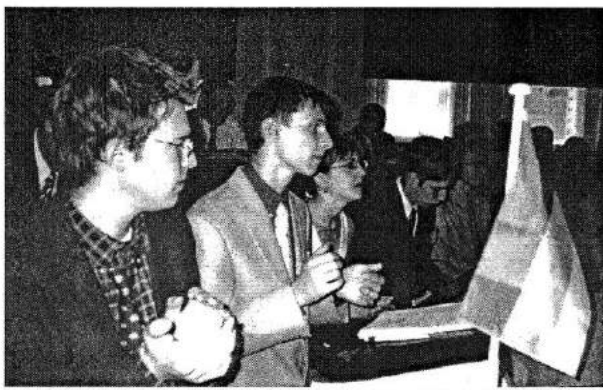
Далі відбулося нагородження переможців XV МТЮФ.



Вітання приймають переможці XV МТЮФ – школярі з Варшави, 30 травня 2002 р., м. Одеса.

Дипломи III ступеня отримали команди Словаччини, Австрії, Угорщини, України, Австралії, Чехії, Хорватії. Дипломами II ступеня нагороджені команди Білорусі та Німеччини. Дипломом I ступеня нагороджена команда Польщі.

2003 року МТЮФ проходить в Швеції з 1 до 7 липня 2003 р. Організатори від України започаткували й урочисто передали країні (Швеції), яка наступного року прийматиме МТЮФ, перехідний вимпел.



*Команда школярів з Німеччини.
30 травня 2002 р., м. Одеса.*

Редакція журналу „Світ фізики” привітала переможців з Польщі, Білорусі та Німеччини з перемогою та взяла у них інтерв'ю.

Як у Ваших країнах проходить турнір юних фізиків? Як Ви вивчаєте англійську мову: у спеціалізованих школах, за відповідними методиками чи самостійно?

У Білорусі є 23 команди, усі змагаються між собою і за результатами формується команда, яка бере участь у Міжнародному турнірі. І звичайно, знання англійської мови – це важливо. Мову ми вивчаємо самостійно, наприклад, у мене два уроки англійської мови на тиждень у школі, а решту я вчу самостійно, зокрема, слова з фізичної лексики.



Яцек Волковіч, учень Варшавського фізико-математичного ліцею

У польських школах досить добре вчать англійську мову. Усі розв'язки завдань турніру ми виконуємо англійською мовою. І, звісно, фінал, який проходить англійською.

„ТЮФ – це частина світу фізики, якого не має у книжках. Окрім того, це ще й багато нового, про що ми дізнаємось під час турнірів”

Турнір закінчився. Можна підбити підсумки, проаналізувати результати та планувати майбутнє. Українські школярі постійно беруть участь у міжнародних турнірах, мають добрі результати, до складу журі входять українські фізики, задачі

українських авторів пропонують на цих турнірах.

Україна вперше приймала МТЮФ, для проведення якого було докладено чимало зусиль. Та найбільше навантаження лягло на плечі колективу Ришельєвського ліцею (директор Ольга Паладій), Одеського національного університету ім. І.І. Мечнікова (ректор В. Сментина, декан фізичного факультету Г. Чемересюк) та організатора цього турніру Валерія Колебошина. Приємно зазначити, що багато допомогли студенти, які самі нещодавно були учасниками турнірів. Дякуємо їм! Сподіваємось що й надалі школа юна фізиків Ришельєвського ліцею ще не раз тішитиме нас своїми здобутками, а ми на сторінках журналу інформуватимемо наших читачів.



*Команда школярів з Білорусі,
30 травня 2002 р., м. Одеса.*

Турнір – це інтелектуальне змагання. Він показує, що для наших школярів потрібні не лише знання фізики, а й вміння спілкуватись, знання англійської мови, технічне оснащення шкіл, добра фахова література.

Що ж далі?

Підрастають нові талановиті діти, для яких дорослі ще не раз організують такі чудові заходи, де вони спілкуватимуться, утверджуватимуться як особистості, шукатимуть свої стежки до майбутнього. Хай їм щастить!

„Щоб діти любили фізику, будьте до них доброзичливими і нам буде з ким спілкуватись у майбутньому”, – сказав Валерій Колебошин на X Всеукраїнському турнірі юних фізиків у Херсоні.

Галина Шопа

ПАРАДОКСИ КОЛЕСА

Олег Орлянський,

доцент кафедри теоретичної фізики
Дніпропетровського національного університету

На теоретичному турі III етапу XXXIX Всеукраїнської олімпіади юних фізиків у Дніпропетровській області була запропонована задача, яка, на перший погляд, не виглядає складною. На жаль, ніхто з олімпійців так і не придивився до неї уважніше. Причина – у дефіциті часу, якого майже завжди бракує на олімпіадах, та, можливо, у спортивному елементі, який вимагає зробити хоча б щось замість нічого.

Ці, зрозумілі кожній неупередженій людині, хиби олімпіади звичайно не роблять її менш важливою і потрібною, ідеальної форми змагання не існує взагалі. Втім виникає парадоксальна ситуація, коли найкращі юні фізики країни визначаються в екстремальних умовах, досить далеких від умов наукового пошуку.

Саме тому дуже добре (як рідко звучать сьогодні такі слова), що у нас на Всеукраїнському рівні є й олімпіади, і турніри юних фізиків, і конкурси робіт малої академії наук – три кити, на яких мандрує у доросле життя юна фізика.

Та повернімося на тверду землю, по якій їде чумацький віз з тієї самої задачі, яка не піддалася юним фізикам під час олімпіади і викликала сумніви у поважних дорослих фізиків під час її обговорення у камерному товаристві. Можливо ця задача десь посередині між олімпіадними і ТЮФівськими задачами, а у розгорнутому вигляді могла б стати темою невеликого дослідження в Малій академії наук. Не знаю. Вирішувати вам.

Кінь і віз.

Кінь котить воза з деякою швидкістю по твердій горизонтальній дорозі, прикладаючи одну кінську силу. Визначіть, скільки кінських сил знадобиться, щоб з тією ж швидкістю тягти того ж воза по тій же дорозі, якщо усі колеса заклинило, і вони вже не котяться, а проковзують. Маса усього воза з вантажем $m = 2000$ кг, маса одного колеса $m_0 = 10$ кг. Колеса однакові, надіті на осі, які трохи змащені

дьюгтем. Це зменшило коефіцієнт тертя ковзання між віссю і колесом до $\mu_1 = 0,3$, водночас, як коефіцієнт тертя ковзання між колесом і дорогою $\mu_2 = 0,6$. Радіус колеса $R = 40$ см, радіус отвору в ньому трохи перевищує радіус осі $r = 2$ см, на яку колесо надіте. Колеса та осі зроблені з твердих матеріалів. Опором повітря і силами тертя кочення знехтуйте. Сила, яку прикладає кінь до воза, – горизонтальна.

Розв'язок. Насамперед зазначмо, що кінська сила – це потужність. Та оскільки швидкості пересування воза в обох випадках однакові, то відношення потужностей дорівнюватиме відношенню сил. На перший погляд, задача здається не складною і відразу запрошується такий розв'язок:

I. У першому випадку, коли віз їде без ускладнень, проковзування відбувається між осями і внутрішніми частинами коліс. Розгляньмо сили, які діють на віз без коліс (рис. 2).

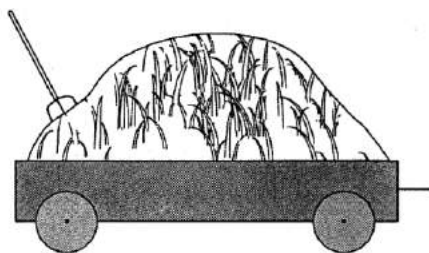


Рис. 1

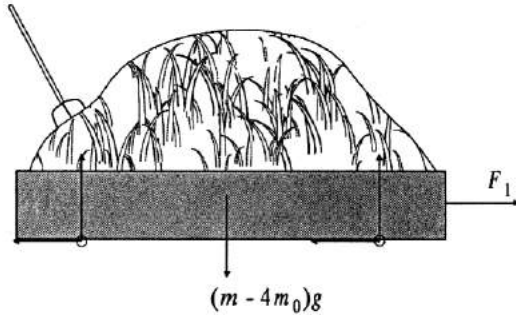


Рис. 2

У горизонтальному напрямку за умовою діє сила з боку коня F_1 , яку компенсують сили тертя ковзання між осями і чотирма колесами, тобто

$$F_1 = \mu_1(N_1 + N_2 + N_3 + N_4).$$

У вертикальному напрямку вагу воза без коліс $(m - 4m_0)g$ компенсує сума усіх сил реакцій опори $N_1 + N_2 + N_3 + N_4$.

Отже, $F_1 = \mu_1(m - 4m_0)g$. У другому випадку віз разом з колесами проковзує відносно дороги. Аналогічні стандартні міркування приводять до

$$F_2 = \mu_2 mg.$$

Відношення сил буде

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{m}{m - 4m_0} \approx \frac{\mu_2}{\mu_1} = 2.$$

Виходить, що радіуси коліс і осей виявилися зайвими. Це вже трохи непокоїть. А що ж можна сказати про масу коня m_k ? На коня у горизонтальному напрямку діють дві сили, які при рівномірному русі мають за величиною дорівнювати одна одній. Це сила, яка діє на коня з боку воза,

$$F_1 = \mu_1(m - 4m_0)g,$$

і сила тертя копит об дорогу

$$F \leq \mu m_k g.$$

Прирівнявши їх, отримаємо

$$m_k \geq (m - 4m_0)\mu_1/\mu \approx m\mu_1/\mu.$$

Як відомо, коефіцієнти тертя гладких поверхонь майже ніколи не перевищують $\mu = 0,8$ (колісна гума об асфальт). Це означає, що маса коня або має бути значно більшою, ніж 750 кг (кінь-велетень), або, пересуваючись, він має довбати копитами землю. Усе це робить наведений розв'язок сумнівним, і справді, правильна відповідь відрізняється від $F_2/F_1 = 2$ у багато разів.

Спробуймо розв'язати задачу з енергетичних міркувань.

II. Припустимо, що колеса пройшли шлях $S = 2\pi Rn$. Тоді робота, яку виконав кінь (у першому випадку $A_1 = F_1 S$, у другому $A_2 = F_2 S$, пішла на роботу проти сил тертя ковзання, оскільки кінетична і потенціальна енергії системи не змінилися, а тертям кочення ми знехтуємо.

Розгляньмо спочатку простіший (з погляду розрахунків) другий випадок, у якому колеса не оберталися і проковзування відбувалося між поверхнями коліс і дорогою (коефіцієнт тертя μ_2). Сила тертя ковзання $F_{\text{тр}2} = \mu_2 mg$ діяла вздовж усього шляху S , отже $A_{\text{тр}2} = \mu_2 mg S$, звідкіля знаходимо вже відомий результат:

$$F_2 = F_{\text{тр}2} = \mu_2 mg.$$

У першому випадку проковзування відбувалося між осями коліс і поверхнями отворів у колесах (коефіцієнт тертя μ_1 , радіус отвору r). Відносно проковзування поверхонь за n обертів становило $s = 2\pi rn$.

Сила тертя ковзання $F_{\text{тр}1} = \mu_1(m - 4m_0)g$ діяла вздовж відстані s , яка у R/r разів менша від відстані S !

Отже,

$$A_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}1} s = \mu_1(m - 4m_0)gs = \mu_1(m - 4m_0)g \frac{r}{R} S.$$

Прирівнюючи до $A_1 = F_1 S$, знайдемо

$$F_1 = F_{\text{тр}1} \frac{r}{R} = \mu_1 \frac{r}{R} (m - 4m_0)g \text{ – несподіваний результат з огляду на попередній розв'язок.}$$

Для відношення сил отримаємо:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{m}{m - 4m_0} \frac{R}{r} \approx \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{R}{r} = 40.$$

Тепер очевидно, що використання колеса зменшує прикладену силу насамперед завдяки різниці між зовнішнім і внутрішнім радіусами (маємо своєрідний рухомий важіль), а вже потім завдяки дьогтю чи іншим мастилам, що зменшують коефіцієнт тертя. Тепер не потрібний велетенський кінь, навіть людина зможе котити цього воза. Що ж, дуже добре, але де ж помилка у першому розв'язку? Чи може другий розв'язок також неправильний?

Звичайно, швидкі та елегантні розв'язки, які ми отримуємо за допомогою законів збереження, можуть бути отримані й з динамічного розгляду, але деколи це досить непроста справа. Із законів збереження енергії зрозуміло, що вічний двигун працювати не буде, та не завжди вдається так легко вказати на помилку у якомусь конкретному проекті. Наприклад, згадаймо місячні припливи. Внаслідок дисипативних сил кінетична енергія обертання Землі навколо осі, а отже, і її кутова швидкість, мають зменшуватись. Зменшення кутової швидкості означає зменшення моменту імпульсу Землі. За законом збереження моменту імпульсу для системи Земля-Місяць це призводить до збільшення моменту імпульсу Місяця (так воно і є, Місяць від Землі поступово віддаляється). А тепер спробуйте визначити, момент якої сили збільшує момент імпульсу Місяця.

Та повернімося до нашої задачі і спробуємо обґрунтувати (або спростувати) енергетичний розв'язок динамічними розрахунками. У другому випадку, коли колеса заклинило, і вони проковзують уздовж поверхні дороги, все досить прозоро звичайна задача на рівномірний рух тіла вздовж горизонтальної площини під дією зовнішньої горизонтальної сили. Не дивно, що у цьому випадку обидва розв'язки дали однаковий результат $F_2 = \mu_2 mg$. Зовсім інша річ з випадком, якщо проковзування відбувається в осях.

З першого погляду, обидва наведені розв'язки достатньо переконливі, однак вони дають різні відповіді! Що робити? Чи можна вибрати один із розв'язків, користуючись такими, наприклад, міркуваннями: „якщо рушниця висить, вона мусить вистрелити”, тобто „якщо задані радіуси, їх потрібно використати”? Звичайно ж ні! На жаль, саме так воно часто і буває на олімпіадах. Бажання отримати якнайбільше балів стає важливішим за пошук істини. Якби на олімпіаді у Дніпропетровську хтось з олімпійців навів обидва розв'язки і лише висловив своє занепокоєння ситуацією, що склалася, він би отримав додатковий бал. Звичайно, що за інших умов могло статися навпаки, і бал був би втраченим. Ну що ж, багато видатних людей втрачали бали, відстоюючи нові ідеї.

Зрозуміло, що в умовах дефіциту часу більшість учасників олімпіади отримали лише один із розв'язків і не встигли глибоко проаналізувати відповідь, щоб помітити якісь суперечності.

Спробуймо тепер розібратися, якому із розв'язків все ж таки слід віддати перевагу. Для того, щоб не повторювати власних помилок внаслідок інерції мислення, спробуймо розв'язати задачу третім способом, який в ідеалі має принципово відрізнитися від перших двох.

III. Розгляньмо сили і моменти сил, які діють на колесо воза (рис. 3). Оскільки колесо рухається рівномірно (зліва направо), сума сил дорівнює нулеві. Отже, з проєкції суми сил на горизонтальний напрямок маємо, що сила тертя ковзання між колесом і віссю $F_{\text{тр}}$ дорівнює силі тертя спокою

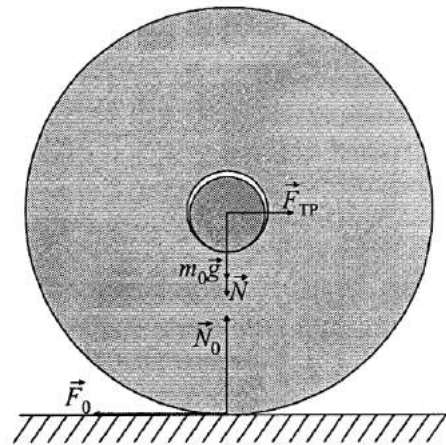


Рис. 3

між колесом і поверхнею дороги F_0 . А з проєкції на вертикальний напрям знаходимо, що сила нормальній реакції опори N_0 , яка діє на колесо з боку дороги, дорівнює сумі ваги колеса $m_0 g$ і силі нормальній реакції опори N , з якою тисне на колесо вісь.

Відносно миттєвої осі обертання, яка проходить через точку дотику колеса та дороги і перпендикулярна до площини рисунка, сума моментів сил має дорівнювати нулеві, адже колесо рухається зі сталою кутовою швидкістю. Як неважко помітити з рис. 3, моменти усіх сил, крім сили тертя ковзання $F_{\text{тр}}$, дорівнюють нулеві, оскільки лінії їхньої дії проходять через вісь обертання. Отже, момент сили тертя ковзання $F_{\text{тр}}(R - r)$ має розкручувати колесо, надаючи йому кутового прискорення. Цього не відбувається. Можливо, розглядати суму моментів відносно миттєвої осі

обертання не можна? Що ж, перейдімо в інерціальну систему відліку, яка рухається разом з колесом, і розглянемо суму моментів сил відносно осі колеса. Тепер маємо два не нульові моменти сили тертя ковзання $M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}}r$ і спокою $M_0 = F_0R$, які за модулем повинні дорівнювати один одному. Але цього не може бути, оскільки з проєкції сил на горизонтальний напрямок ми ра-

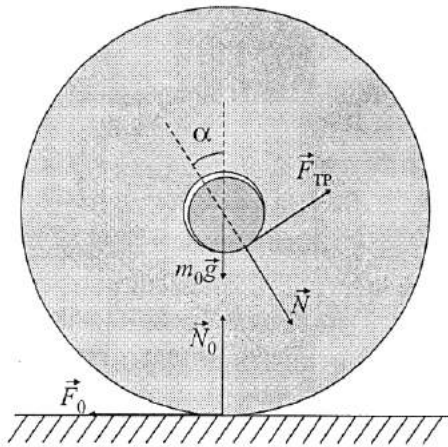


Рис. 4

ніше отримали, що $F_{\text{тр}} = F_0$. Знову суперечність. Висновок: на рис. 3 сили зображені неправильно. Місце дотику внутрішньої частини колеса і осі буде не в найнижчій точці, а трохи попереду (на рис. 3 праворуч від вертикальної осі), оскільки саме вісь примушує колесо рухатись уперед (див. рис. 4).

Знову розглянемо суму моментів відносно миттєвої осі обертання, яка проходить через найнижчу точку колеса. Тепер відмінні від нуля моменти двох сил: сили тертя ковзання $F_{\text{тр}}$ і сили реакції з боку осі N . Але моменти цих сил не можуть компенсувати один одного, оскільки вони однаково спрямовані і мають з деяким кутовим прискоренням збільшувати кутову швидкість колеса. Ситуація, яка зображена на рис. 4, відповідає рухові воза з прискоренням. Можна знову перейти у систему відліку „віз” і розглянути моменти сил відносно осі колеса. Матимемо $F_{\text{тр}}r = F_0R$. Додаткове рівняння візьмімо з проєкції сил на горизонтальну вісь: $F_{\text{тр}} \cos \alpha + N \sin \alpha = F_0$. Врахову-

ючи зв'язок між силою тертя ковзання і реакцією опори, отримаємо

$$\mu_1 \cos \alpha + \sin \alpha = \mu_1 \frac{r}{R} \quad (1)$$

Не важко довести, що для $r/R < 1$ і $\mu_1 < 1$ не існує таких кутів $\alpha \in [0; \pi/2]$, які б задовольняли рівнянню (1). Отже, рис. 4 також не відповідає дійсності. Залишаються дві можливості, обидві однаково неймовірні:

1. Точка дотику осі та колеса лежить вище від центра колеса $\alpha > \pi/2$.
2. Точка дотику осі та колеса лежить позаду $\alpha < 0$, нібито колесо штовхає воза з конем, а не навпаки.

Зазначмо, що і формальний розв'язок тригонометричного рівняння (1) для цієї задачі $\mu_1 = 0,3$ і $r/R = 1/20$ має два корені $\alpha_1 \approx 162,5^\circ$ і $\alpha_2 \approx -15,88^\circ$. Першу можливість (точніше неможливість) спростувати досить легко. Якщо точка дотику зверху, обидві сили, які діють на колесо у цій точці, $F_{\text{тр}}$ і N , будуть під деякими кутами спрямовані догори. За третім законом Ньютона відповідні сили, які діятимуть на осі з боку коліс, а через них і на віз, будуть спрямовані вниз. Отже, ці сили не зможуть компенсувати сили тяжіння, і віз має впасти у якесь зручніше положення.

Розглянемо останню можливість (рис. 5). Точка дотику осі воза і колеса зміщена відносно вертикального радіуса у бік протилежний рухові колеса (на рисунку колесо котиться зліва направо). Відносно осі колеса, на колесо діють два не нульо-

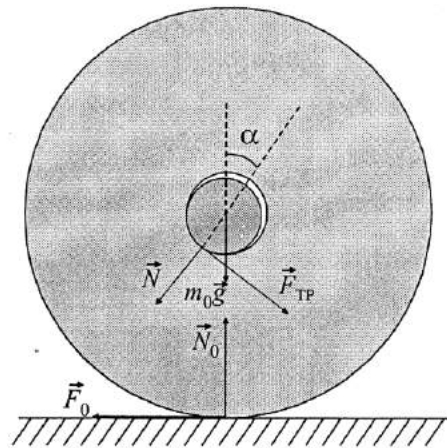


Рис. 5

ві моменти: момент сили тертя ковзання $F_{\text{тр}}r$ і момент сили тертя спокою F_0R . Прирівнюючи моменти маємо, що $F_0 = F_{\text{тр}} r/R$. Спроектуємо сили на горизонтальний і вертикальний напрямки:

$$\begin{cases} F_{\text{тр}} \cos \alpha = N \sin \alpha + F_0, \\ N_0 = F_{\text{тр}} \sin \alpha + N \cos \alpha + m_0 g \end{cases}$$

і перепишімо систему, враховуючи, що

$$F_0 = F_{\text{тр}} r/R \text{ і } F_{\text{тр}} = \mu_1 N.$$

$$\begin{cases} \mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha = \mu_1 \frac{r}{R} \\ N_0 = \frac{\mu_1 \sin \alpha + \cos \alpha}{\mu_1} \frac{R}{r} F_0 + m_0 g \end{cases} \quad (2)$$

З першого рівняння системи знаходимо, що кут α на який відхиляється від горизонталі сила тертя ковзання, залежить тільки від геометричних розмірів колеса і коефіцієнта тертя ковзання μ_1 . Цей кут для всіх коліс однаковий. Друге рівняння системи для інших трьох коліс має аналогічний вигляд. Якщо скласти такі рівняння для всіх чотирьох коліс, то, незважаючи на місце розташування центра ваги воза, матимемо:

$$mg = \frac{\mu_1 \sin \alpha + \cos \alpha}{\mu_1} \frac{R}{r} F_1 + 4m_0 g,$$

де F_1 – сила, яку прикладає до воза кінь. Справді, на віз разом з колесами діють такі зовнішні сили: у вертикальному напрямку вага всього воза mg (вниз), і чотири сили реакції опори з боку поверхні дороги $N_{0(1)} + N_{0(2)} + N_{0(3)} + N_{0(4)}$ (догори), у горизонтальному напрямку сила, яку прикладає до воза кінь, F_1 (праворуч) і чотири сили тертя спокою $F_{0(1)} + F_{0(2)} + F_{0(3)} + F_{0(4)}$ (ліворуч).

Отже, з динамічного розгляду знаходимо силу F_1 :

$$F_1 = \frac{r}{R} \frac{\mu_1 (m - 4m_0) g}{\mu_1 \sin \alpha + \cos \alpha} = \frac{r}{R} \frac{\mu_1 (m - 4m_0) g}{\sqrt{1 + \mu_1^2 - \mu_1^2 \frac{r^2}{R^2}}}. \quad (3)$$

В останньому виразі знаменник був переписаний завдяки деяким тригонометричним перетворенням з урахуванням першого рівняння системи (2), а саме:

$$\begin{aligned} (\mu_1 \sin \alpha + \cos \alpha)^2 &= 1 + \mu_1^2 - (\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha)^2 = \\ &= 1 + \mu_1^2 - \mu_1^2 \frac{r^2}{R^2} \end{aligned}$$

Вираз для сили F_2 , з якою треба тягнути воза, якщо його колеса не обертаються, не змінився:

$F_2 = \mu_2 mg$. Відношення сил дорівнює

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1} \frac{R}{r} \frac{m}{m - 4m_0} \sqrt{1 + \mu_1^2 - \mu_1^2 \frac{r^2}{R^2}} \approx 42,6. \quad (4)$$

Отже, маємо третю відповідь, яка відрізняється від двох попередніх. Попередні динамічний і енергетичний розв'язки (I і II) були зроблені з припущенням, що точка дотику осі та колеса знаходиться у найнижчому з можливих положень. Третій розв'язок динамічний і був отриманий із припущення, що точка дотику осі й колеса трохи позаду, як на рис. 5 (для цієї задачі $\alpha \approx 15,88^\circ$). Отже, залишається у цьому ж припущенні отримати енергетичний розв'язок і порівняти його з (4).

IV. Як уже зазначалось у розв'язку II, робота, яку виконав кінь за n обертів колеса

$$A_1 = F_1 S = 2\pi R n F_1$$

пішла на роботу проти сил тертя ковзання

$A_{\text{тр1}} = F_{\text{тр1}} \cdot s = 2\pi r m \mu_1 N$, тобто $A_1 = A_{\text{тр1}}$, звідкі-

ля знаходимо, що $F_1 = \mu_1 \frac{r}{R} N$. Залишається визначити N . Спроектуємо сили, які діють на віз без

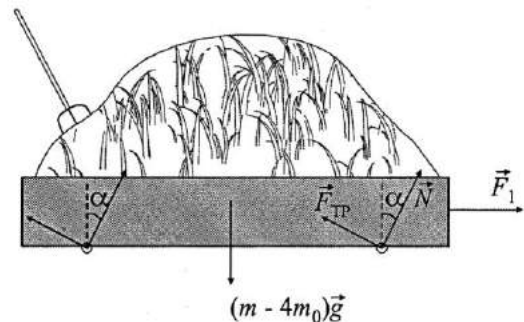


Рис. 6



коліс (рис.6), на вертикальний і горизонтальний напрямки:

$$\begin{cases} N \cos \alpha + \mu_1 N \sin \alpha = (m - 4m_0)g, \\ F_1 + N \sin \alpha = \mu_1 N \cos \alpha. \end{cases} \quad (5)$$

З першого рівняння системи (5) з урахуванням

$F_1 = \mu_1 \frac{r}{R} N$ знаходимо рівняння для α , яке збігається з першим рівнянням системи (2), а з другого рівняння системи (5) знаходимо вираз для сили F_1 тотожний до (3). Отже, і енергетичний розв'язок, і динамічний приводять до однієї відповіді.

Зазначмо, що оскільки кут відхилення від вертикалі $\alpha \approx 15,88^\circ$ невеликий, вертикальна проекція нормальної сили реакції з боку колеса на вісь майже дорівнює самій силі реакції $N \cos \alpha \approx N$, а вертикальною проекцією сили тертя $F_{\text{тр}} \sin \alpha = \mu_1 N \sin \alpha \approx \mu_1 \alpha N \approx 0$ можна знехтувати порівняно з N за рахунок малого множника $\mu_1 \alpha$. Отже, $N \approx (m - 4m_0)g$, загальна сила тертя ковзання $F_{\text{тр}} \approx \mu_1 (m - 4m_0)g$, що робить зрозумілим, чому енергетичний розв'язок **П** дав досить точні результати. Аналогічні міркування пояснюють також причину не точної відповіді динамічного розв'язку **I**. Горизонтальна проекція сили тертя майже дорівнює самій силі тертя $F_{\text{тр}} = \mu_1 N$ і вважалося, що саме таку силу мусить прикладати кінь, щоб рухати воза зі сталою швидкістю. Але це не так, оскільки, незважаючи на малий кут α горизонтальною проекцією нормальної сили реакції з боку колеса на вісь $N \sin \alpha \approx \alpha N$ не можна знехтувати порівняно з $F_{\text{тр}}$ оскільки $\mu_1 \approx \alpha$. Кінь прикладає силу, яка дорівнює різниці цих горизонтальних проекцій, а саме

$$F_1 \approx \mu_1 N - \alpha N \approx (\mu_1 - \alpha)N.$$

Один знайомий автора, вельми кваліфікований фізик, трохи подискутувавши на рівні ідей, сказав, що він не вірить у можливість руху, під час якого колесо біжить поперед воза. І далі усміхнувшись додав, що це неможливо, бо суперечить його фі-

зичній інтуїції. Інший серйозний фізик, якого автор дуже поважає, запропонував зробити модель, щоб остаточно розвіяти будь-які сумніви.

Звичайно, експеримент – головний критерій достовірності будь-якої фізичної теорії. Зробити модель воза і вивчити особливості її руху – завдання не просте, але й не дуже складне. Річ в іншому. Якщо ми розуміємо природу явища, то можемо теоретично передбачити результати експерименту. Скажімо інакше: якщо явище не виходить за межі існуючих теорій (у нашому випадку це безперечно так), ми маємо зуміти розрахувати будь-які експериментальні результати. У цьому, на мою думку, і є головна практична цінність теорії, а відтак і головний критерій нашого оволодіння нею.

Зазвичай нові проблеми ставить експеримент. Він дивує і вимагає осмислення та теоретичного обґрунтування. Висуваються різні гіпотези і теорії, вибір між якими знову ж таки робиться на підставі додаткових експериментів. Потім утверджується одна теорія, яка не тільки задовільно пояснює експериментальні дані, а й передбачає нові. Після апробації вона стає частиною людського надбання у вивченні природи.

Та деколи трапляється, що теорія виникає не завдяки експериментові, а з естетичних уявлень геніальних людей, своєрідних інтуїтивних прозрінь, підкріплених багаторічними роздумами і кропіткими розрахунками (наприклад, загальна теорія відносності). Деколи теорії збагачуються новими потужними методами, які дають змогу робити передбачення, що здаються неймовірними і дивують експериментаторів

Видатний ірландський учений Вільям Роуен Гамільтон, який збагатив новими ідеями як фізику, так і математику, теоретично передбачив існування в кристалах конічної рефракції явища, яке дуже складно спостерігати. Він написав своєму другові Г. Ллойдю листа, у якому просив провести відповідні досліді. Після багатьох невдалих спроб явище було відкрите. Після того, як ці досліді були багаторазово повторені, хтось зауважив, що не знає людини, яка б повірила в конічну реф-



ракцію, до того, як побачила її на власні очі. Гамільтон відповів: „Наскільки це відрізняється від мого підходу. Якби я тільки побачив конічну рефракцію, я ніколи не повірив би в неї. Мої очі так часто підводили мене. Я вірю в конічну рефракцію, оскільки я її довів.”

Чи довели ми, що під час рівномірного руху воза точка дотику осі й колеса є не попереду, а позаду найнижчої точки осі? Звичайно ні. По-перше, у реального возі це буде не точка, а деяка поверхня. По-друге, завдяки силі тертя кочення нормальна реакція опори N_0 , яка діє на колесо з боку дороги, зміститься вперед і зменшить ефект, якщо не зведе його нанівець. По-третє, рух може виявитись не зовсім рівномірним внаслідок залежності коефіцієнта тертя від швидкості, подібно до руху струни скрипки при проходженні смичка. Нарешті, параметри самого воза виглядають не зовсім реальними. Радіус осі, наприклад, усього $r = 2$ см. При більшому радіусу r (див. (2)) кут α зменшиться і т. ін. Отже, у реальному возі найбільш стертими будуть, мабуть, найнижчі частини осей у місцях, що доторкаються до коліс. А у „нереальному”, зробленому з твердих сучасних матеріалів?

Будь-яка фізична теорія є тільки моделлю реальності. Розв'язуючи задачі, ми додатково нехтуємо багатьма чинниками. Головне – робити це обґрунтовано і не знехтувати тим, що визначає саме явище. Задача про віз була розглянута в припущенні твердих матеріалів і рівномірного руху. Чи не знехтували ми чимось суттєвим, що визначає рух воза? Ні. Якщо є кінь, віз і сили тертя, то рівномірний рух з достатньою точністю можна організувати. Отже, за розрахунками, колесо кочиться все ж таки попереду воза, а віз трохи піднімається на осях і увесь час зісковзує, залишаючись на одній висоті і примушуючи силою тертя рухатись колесо вперед.

Але як пояснити отриманий результат не мовою математичних перетворень, а за допомогою фізично прозорих ідей і наочних образів?

Розгляньмо початок руху. Дуже-дуже поволі почнімо тягти воза. Вісь ще не почала проковзувати, а колесо трохи повернулося. На хвилинку зупинімось. Вісь трохи піднялась і міститься

позаду від найнижчої точки колеса (рис. 5). Це звичайно не означає, що вісь змістилася назад відносно землі. Наприклад, для умов задачі вже при куті повороту 3° центр колеса зміщується на відстань більшу ніж радіус отвору r .

Продовжуймо рух. Вісь у деякий момент зсується вниз, потім знову підніметься і так далі. За деякий час рух встановиться, і припущення, згідно з яким між колесом і віссю діяла тільки сила тертя ковзання, можна буде вважати достатньою мотивованим.

Звичайно, є ще багато запитань, пов'язаних як з різними пристроями для пересування і перевезення вантажів (дачні візки, тощо), так і з самим колесом. Цікаво було б детально проаналізувати отримані формули, визначити, як залежить кут від прискорення воза або як треба запрягати коня, щоб за однакових розмірів передні вісь і колеса не виходили з ладу частіше ніж задні (здогадайтесь чому) тощо... Та все це ви можете зробити самостійно й отримати від цього набагато більше користі й задоволення. Адже самостійна діяльність людини лежить в основі будь-якої творчості і підносить її над рівнем пасивного спостерігача.

Колесо – це мабуть найперший пристрій, який людина винайшла самостійно, а не підгледіла у навколишній природі. Навіть підгледіти і здогадатися, як побачене можна використати, дуже непросто. Помітити ж те, що до вас ще ніхто не помічав, неймовірно важко. А придумати щось таке, чого в навколишньому світі не існує, але що може існувати, якщо його зробити, задача фантастичної складності. Розумію, важко повірити в складність і особливість колеса, якщо з дитинства щодня бачиш його і користуєшся ним. Але ж високорозвинені доколумбові цивілізації Американських континентів так і не винайшли колеса. Або кого з вас не здивував свого часу напрямок руху котушки з нитками, якщо потягти за нитку, яка виходить з-під низу котушки?

Якщо ви продовжите пошук у цьому напрямі, на вас чекає ще багато несподіванок і парадоксів, але головний парадокс колеса, мабуть, не в тому, що людина деколи чогось в його поведінці не розуміє, а в тому, що вона його винайшла.



На X Всеукраїнському турнірі юних фізиків пропонувалась задача „Молочна вода”:

Деколи, наповнюючи склянку водою з-під крана, можна бачити, що вода стає білою, як молоко. Дослідіть це явище та запропонуйте спосіб визначення кількості „розчиненого” у воді повітря.

Очевидно ця проблема зацікавила багатьох. У редакцію журналу „Світ фізики” надійшли матеріали, присвячені розв’язанню цієї проблеми. Пропонуємо вашій увазі статті з Ришельєвського ліцею (м. Одеса) та Львівського фізико-математичного ліцею.

МОЛОЧНА ВОДА З ОДЕСЬКОГО ВОДОГОНУ

„Молочний” колір води з-під крана пояснюється виділенням маленьких бульбашок повітря, яке було розчинене у ній доти, доки вода перебувала під підвищеним тиском у водогоні. Кожна бульбашка розсіює світло, що падає на неї, але вже з відстані півметра окремих бульбашок не видно, і вода здається однорідно мутною.

Ми хочемо визначити кількість бульбашок в одиниці об’єму „молочної” води (концентрацію) з вимірювань її яскравості під час бокового освітлення паралельним пучком білого світла. З’ясувалось, що можна не лише знайти концентрацію бульбашок, а й експериментально встановити їхній розподіл за розмірами.

1. Яскравість „молочної” води з бульбашками однакового розміру

Із невеликої відстані навіть неозброєним оком вдається побачити окремі бульбашки, відповідно, їхні розміри значно перевищують довжину світлової хвилі, і розсіяння світла бульбашками є звичайним відбиванням світлових променів від їхніх сферичних поверхонь відповідно до законів геометричної оптики.

При відбиванні від межі розподілу вода-повітря (відносний показник заломлення 1,33) граничний кут повного відбивання становить 48,75 градусів. Тому, якщо спостерігати за бульбашками під кутом, більшим від $2 \times 48,75 = 97,5$ градусів до напрямку падаючого пучка світла, їх можна вважати ідеально відбиваючими дзеркальними кульками. У цьому випадку кожна кулька у напрямку спостереження виглядатиме як точкове джерело світла силою

$$I_1 = \frac{\Phi}{4\pi} = \frac{\pi r^2 E}{4\pi} = \frac{1}{4} E r^2,$$

де r – радіус бульбашки, Φ – світловий потік, який падає на нього, E – освітленість, яку створює зовнішнє джерело на площадці, перпендикулярній до напрямку падаючих променів. (Ми не подаємо доведення того, що ідеально відбиваюча кулька, освітлена паралельним пучком, є ізотропним джерелом, тобто справедлива формула $I = \Phi/4\pi$, хоча така перевірка проводилась).

Нехай „молочна” вода міститься у посудині, що має форму прямокутного паралелепіпеда завтовшки h , причому всі бульбашки мають однаковий радіус і рівномірно розподілені в об’ємі з

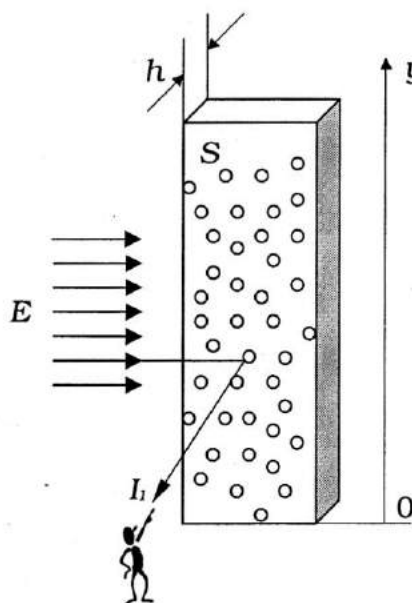


Рис. 1.



концентрацією n . Тоді сила світла, що виходить від усіх бульбашок у посудині, дорівнює

$$I = I_1 n S h = \frac{1}{4} E r^2 n S h,$$

де S – видима площа посудини.

Яскравість B , за визначенням, дорівнює силі світла, яке виходить з одиниці площі видимої поверхні тіла. Отже, для бульбашок однакового радіуса

$$B = \frac{1}{4} E h r^2 n. \quad (1)$$

Передбачається, що концентрація бульбашок не дуже велика, для спостерігача вони не перекривають одна одну (останнє можна досягти вибором достатньо малого значення h).

2. Врахування розподілу бульбашок за розмірами

Введемо функцію розподілу бульбашок за розмірами $\psi(r)$ так як, наприклад, вводиться функція розподілу молекул за швидкостями в газі:

$\psi(r) = \frac{dn}{n dr}$ – це відносна кількість бульбашок, радіус яких розташований в одиничному інтервалі поблизу значення r .

Тоді концентрація бульбашок з радіусами від r до $r + dr$ дорівнює $dn = \psi(r) n dr$, а їхній внесок у яскравість „молочної” води

$$dB = \frac{1}{4} E h r^2 dn = \frac{1}{4} E h r^2 \psi(r) n dr.$$

Спостережувана яскравість води зумовлена наявністю у ній бульбашок різних розмірів (формально від 0 до ∞) і вираховується за формулою:

$$B = \frac{1}{4} E h n \int_0^{\infty} \psi(r) r^2 dr. \quad (2)$$

Зазначмо, що величина n – концентрація бульбашок усіх розмірів.

3. Зміна функції розподілу та яскравості „молочної” води завдяки спливанню бульбашок

На бульбашки у „молочній” воді діє сила Архімеда

$F_A = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g$ і протилежно спрямована сила

в'язкого тертя $F = 4\pi \eta r v$ (для бульбашки, на відміну від твердого тіла кулястої форми, коефіцієнт у формулі для сили опору дорівнює не 6π , а 4π [1]), де ρ і η – густина і в'язкість води, відповідно, g – прискорення вільного падіння. Рівність цих сил досягається при швидкості спливання бульбашки

$$v = \frac{\rho g}{3\eta} r^2$$

Легко видно, що більші бульбашки спливають швидше, ніж менші, і це призведе до зміни функції розподілу.

Якщо припустити, що на дні посудини бульбашки не утворюються, то через проміжок часу t після заливання у неї води, на відстані y від дна будуть відсутні бульбашки, які пройшли за час спливання відстань, більшу від y , тобто є бульбашки, радіуси яких перевищують значення:

$$r^* = \sqrt{\frac{3\eta y}{\rho g}}. \quad (3)$$



Рис. 2.



Отже, в один і той же момент часу на різних відстанях від дна посудини функція розподілу бульбашок матиме різний вигляд.

Яскравість „молочної” води у точці у у момент часу t визначатиметься розсіянням на бульбашках, радіус яких не перевищує r^*

$$B(y, t) = \frac{1}{4} Ehn \int_0^{\sqrt{\frac{3\eta y}{\rho g t}}} \Psi(r) r^2 dr \quad (4)$$

Важливо, що у цій формулі $\Psi(r)$, як і раніше, є початковою функцією розподілу бульбашок за радіусами.

4. Експериментальна методика визначення концентрації і функції розподілу бульбашок за радіусами

Ввівши позначення $r = \sqrt{3\eta y / \rho g t}$, формулу (4) можемо переписати:

$$B(r) = \frac{1}{4} Ehn \int_0^r \Psi(\xi) \xi^2 d\xi,$$

звідси за властивостями інтегралу із змінною верх-

нею межею $\frac{dB}{dr} = \frac{1}{4} Ehn \Psi(r) r^2$. З останнього ви-

разу впливає формула, на якій ґрунтується експериментальна методика знаходження концентрації і функції розподілу бульбашок за радіусами:

$$n \Psi(r) = \frac{4}{Ehr^2} \frac{dB}{dr} \quad (5)$$

Щоб скористатись цією методикою, експериментаторові слід виконати такі дії:

- налити „молочну” воду в посудину у формі прямокутного паралелепіпеда і освітити її бік паралельним пучком світла, створюючи на боковій стінці посудини відому освітленість E ;
- зачекати деякий час τ , упродовж якого стане помітним розшарування бульбашок (біля дна посудини вода стане прозорою);
- фотографічним чи іншим чином виміряти залежність яскравості „молочної” води $B(y, \tau)$ від відстані у до дна посудини у момент часу τ ;
- перевести залежність $B(y, \tau)$ у залежність $B(r)$ за формулою (3) і побудувати графік цієї залежності;

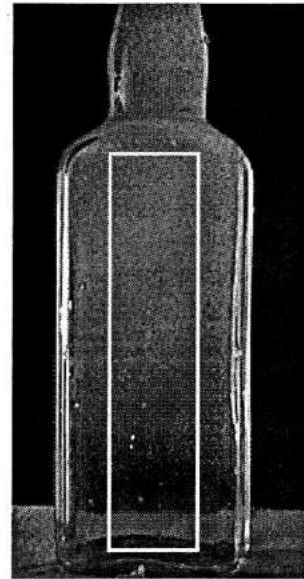


Рис. 3.

– графічно чи за допомогою числових методів знайти похідну dB/dr ;

– користуючись формулою (5), побудувати графік залежності $n\Psi(r)$;

– графічно чи за допомогою числових методів визначити площу під кривою $n\Psi(r)$, вона дорівнює концентрації усіх бульбашок n , оскільки із фізичного смислу функції розподілу випливає, що площа під кривою $\Psi(r)$ дорівнює одиниці;

– діленням величин $n\Psi(r)$ на концентрацію бульбашок отримати функцію розподілу $\Psi(r)$.

5. Опис експериментів і його результатів

Для дослідження „молочної” води використовували пляшку прямокутної форми, розміщену на чорному фоні. Один бік пляшки освітлювали лампою розжарення потужністю 100 Вт з відстані 1 м. Під кутом майже 100° до напрямку світлового пучка була розміщена цифрова фотокамера, у полі зору якої перебував також освітлений тим же джерелом світла аркуш білого паперу, розміщений під кутом 30° до напрямку світлових променів. Папір використовували як об’єкт порівняння, що має відому яскравість. Щоб визначити яскравість паперу фотоелектричним люксометром Ю116 спочатку визначали його освітленість



з урахуванням косоного падіння світла, далі, припускаючи, що папір розсіює світло за законом Ламберта, використовувалось відоме у фотометрії співвідношення $B = kE/\pi$, де B – яскравість паперу, E – освітленість, k – коефіцієнт білизни (для цього паперу $k = 0,9$). Після заповнення пляшки водою з-під крана спостерігався деякий час (у нашому випадку 7 с) і цифровою фотокамерою фотографувалась „молочна” вода (рис. 3).

Підготовка цифрового зображення для подальшого опрацювання проводилась на комп’ютері за допомогою програми Adobe Photoshop: зображення знебарвлювалось зі збереженням яскравості й контрасту, із нього вирізали ділянку заввишки 150 мм (на рисунку виділена білим прямокутником), після того горизонтальні розміри зображення зменшували до 1 пікселя, чим автоматично досягали усереднення результатів вимірювання яскравості по горизонталі.

Так підготовлений файл із зображенням далі імпортувався в обчислювальне середовище Mathcad 2000 Professional, де здійснювалось опрацювання відповідно з алгоритмом, який описано вище.

На рис. 4 зображена залежність яскравості „молочної” води від відстані, що відраховується від дна посудини. Тонка лінія – це дані, взяті безпосередньо із файла із зображенням, товста лінія – отримана після застосування функції згладження із бібліотеки Mathcad. Оскільки алгоритм опрацювання результатів передбачає подальше обчислення похідної, вимірюваної залежності, то без зменшен-

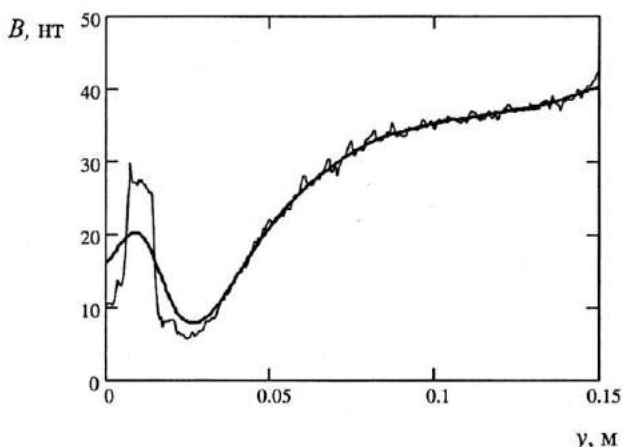


Рис. 4. Розподіл яскравості „молочної” води по висоті посудини

ня шумів зумовлених тим, що все ж таки зображення складається із окремих бульбашок, і маскує корисну інформацію. Максимум на шкалі у біля 0,01 м зумовлений краєм стола, який видно крізь посудину (див. рис. 3).

На рис. 5 зображено функцію розподілу бульбашок за радіусами. З графіка видно, що більшість бульбашок мають радіус 40–43 мкм. Бульбашок з радіусами, меншими від 35 мкм і більшими від 60 мкм у воді майже немає. Зауважмо, що функція розподілу асиметрична: вона різко обривається ліворуч від максимуму і порівняно плавно стадає праворуч.

Загальна концентрація бульбашок у воді майже $1,6 \times 10^9 \text{ м}^{-3}$, тобто майже 1,6 бульбашки на кубічний міліметр „свіжої” (коли бульбашки ще не почали спливати) молочної води. Ось яка вона „молочна” вода з одеського водогону!

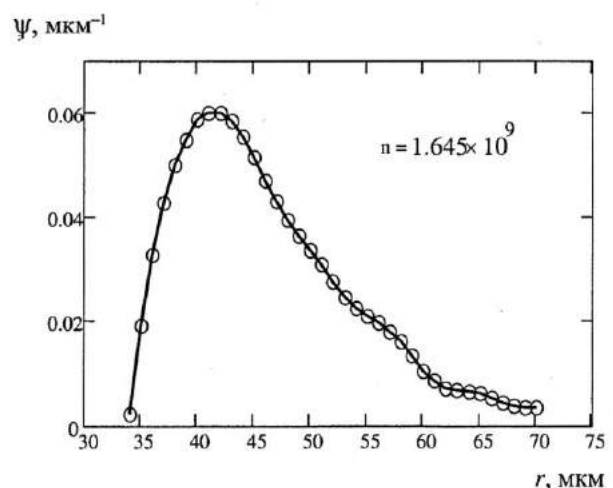


Рис. 5. Функція розподілу бульбашок за радіусами

6. Програма, яка моделює поведінку „молочної” води

Подана нижче програма мовою TurboPascal дає змогу спостерігати на екрані монітора комп’ютера зміну з часом зовнішнього вигляду „молочної” води. Функцію розподілу функції за розмірами можна задавати довільно. Для цього досить заповнити масив ..., у який в самому тексті програми заноситься кількість бульбашок з радіусами від 1–100 мкм з кроком 1 мкм. Чотири варіанти функції розподілу задаються на ділянці програми, яка подається з коментарями: три з



них (А – однакова кількість бульбашок усіх розмірів; В – усі бульбашки однакові; С – два розміри бульбашок) „коментуються” за допомогою фігурних дужок, четвертий – гаусівський розподіл за радіусами – залишено як робочий варіант.

Крім мультиплікаційного зображення посудини з „молочною” водою, на екрані зображається час, графік залежності яскравості „молочної” води від віддалі до дна посудини, графік-гістограма функції розподілу бульбашок за розмірами. Програма пройшла успішне тестування на багатьох комп’ютерах.

```

program M_Water;
  {$N+}
uses Graph, CRT;
const
  Ro = 1e3; Eta = 1e-3; g = 9.81; dt = 0.05; C = 3*Eta/Ro/g; Yscale = 1e-3; Gauss = 15.0;
var
  GD, GM, i, Y: integer;
  RDistr: array [1..100] of extended; {quantity of bubbles with 0.001-0.1mm}
  SubIntFn: array [1..100] of extended; {subintegral fn values}
  Brightness: array [1..400] of extended;
  Time: extended; Rcrit, MaxB, MaxDistr: extended; S: string;
function Size(i:integer): extended;
begin
  Size:= 1e-6 * i
end;
BEGIN
  GD:= InstallUserDriver ('SVGA256', nil); GM:=2; {640x480x256 colors mode} {GD:=Detect;}
  InitGraph (GD, GM, '');
    { Generating bubble distribution }
    { A. constant distribution }
  { for i:= 1 to 100 do RDistr[i]:=100;}
    { B. one size only }
  { for i:= 1 to 100 do RDistr[i]:=0; RDistr [70]:= 100;}
    { C. two sizes only }
  { for i:= 1 to 100 do RDistr[i]:=0; RDistr [70]:= 100; RDistr [60]:= 50;}
    { D. Gauss distribution }
  for i:= 1 to 100 do RDistr[i]:= exp(-sqr((i-50)/Gauss));
    { _____ }
    { Generating subintegral function values }
  for i:= 1 to 100 do SubIntFn[i]:= RDistr[i] * Sqr(Size(i));
    { Generating color palette of grays }
  for i:= 0 to 63 do SetRGBPalette (i+100, i, i, i);
    { Image of glass }
  SetColor (LightBlue); Rectangle(250, 0, 350, 440);
    { Brightness Coordinate system }
  SetColor (Yellow); Line (400, 440, 400, 20); Line (400, 440; 630, 440);
  SetTextStyle (SmallFont, HorizDir, 0); SetTextJustify (CenterText, CenterText);
  OutTextXY (520, 450, Brightness');
  SetTextStyle (SmallFont, VertDir, 0); OutTextXY (380,60, 'Coordinate, mm');

```



```
for i:= 0 to 4 do Line (396, 440-100*i, 400, 440-100*i);
for i:= 0 to 3 do
begin
  Str (100*i, S);
  OutTextXY (385, 440-100*i, S)
end;
  { Distribution Fn Hystogram }
Line (10, 340, 220, 340);
SetTextStyle (SmallFont, HorizDir, 0);
for i:= 0 to 5 do
begin
  Line (10+40*i, 340, 10+40*i, 345);
  Str (20*i, S);
  OutTextXY (10+40*i, 350, S)
end;
OutTextXY (120, 365, 'Radius, mkm');
OutTextXY (120, 65, 'BUBBLES DISTRIBUTION');
OutTextXY (120, 85, 'by RADIUS');
MaxDistr:=0;
for i:= 1 to 100 do if MaxDistr < RDistr[i] then MaxDistr := RDistr[i];
SetFillStyle (SolidFill, Red);
for i:= 1 to 100 do Bar (9+2*i, 339, 10+2*i, 339-Round(200*RDistr[i]/MaxDistr));
SetTextStyle (SmallFont, HorizDir, 8); OutTextXY (80, 430, 'Time');
  { _____ }
Time:= dt;
  { M A I N   C Y C L E by time }
repeat
for Y:= 1 to 400 do Brightness[Y] := 0;
  { Cycle by Y }
for Y:= 1 to 400 do
begin
  Rcrit:= Sqrt(C*Y*Yscale/Time);
  { Cycle by R }
for i:= 1 to 100 do
if Size(i) < Rcrit then
  Brightness[Y]:= Brightness[Y] + SubIntFn[i]
end;
  { Normalization of Brightness }
if Time < 1.5*dt then
begin
  MaxB:= 0;
for Y:= 1 to 400 do if Brightness[Y] > MaxB then MaxB:= Brightness[Y]
end;
for Y:= 1 to 400 do Brightness[Y]:= Brightness[Y]/MaxB * 63;
  { Drawing Water }
for Y:= 1 to 400 do
begin
  SetColor(100+Round(Brightness[Y])); Line(251, 440-Y, 349, 440-Y)
end;
```




```

{ Drawing Brightness graph }
SetFillStyle (SolidFill, 100); Bar (401, 439, 630, 20);
SetFillStyle (SolidFill, LightRed);
for Y:= 1 to 400 do Bar (400+Round(3*Brightness[Y]), 440-Y, 401+Round(3*Brightness[Y]), 439-Y);
  { Displaying Time }
SetFillStyle (SolidFill, 100); Bar (110, 420, 180, 440);
Str (Time:4:1, S);
SetColor (Yellow); OutTextXY (145, 430, S);
Time:= Time + dt
until KeyPressed;
CloseGraph
END.

```

Анна Ткаченко, Дмитро Тінітілов, (11 кл.),
 Олег Матвейчук, Сергій Самошкін,
 Сергій Пипко, (10 кл.)
 Павло Віктор,
 учитель фізики, кандидат
 фіз.-мат. наук, доцент
 Рішельєвської ліцеї (Одеса)

Література:

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М: „Наука“, 1965. с. 321.

МОЛОЧНА ВОДА

Пропонуємо спосіб для знаходження кількості повітря в бульбашках у одиниці об'єму „молочної” води. Для його реалізації потрібно знати, який середній радіус бульбашок r та яка їхня концентрація n . Знаючи це за законом Менделєєва-Клапейрона, кількість молів повітря в одиниці об'єму „молочної” води можна знайти так:

$$v = \frac{P_6 V_6 n}{RT}, \quad (1)$$

де P_6 – тиск повітря у бульбашці, V_6 – об'єм одної бульбашки, T – температура газу в бульбашці, вважаємо, що вона дорівнює температурі рідини.

$$\text{Зокрема} \quad P_6 = P_0 + \frac{2\sigma}{r} + \rho gh - P_n, \quad (2)$$

$$V_6 = \frac{4}{3}\pi r^3, \quad (3)$$

де P_0 – атмосферний тиск, $\frac{2\sigma}{r}$ – лапласівський тиск з боку плівки рідини, σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини, P_n – тиск насиченої пари рідини. Зауважмо, що при малих h гідростатичним тиском порівняно з P_0 можна знехтувати, як і тиском P_n за невисоких температур.

Для подальшого дослідження оберімо випадок, який описаний у задачі, тобто саме „молочну” воду, поки що не розглядаючи бульбашок більших розмірів, наприклад таких, що виникають при відкриванні газованої води.

„Молочна” вода цікава насамперед своїми оптичними властивостями, а саме тим, як вона розсіює світло. Загалом є три види розсіювання світла довжини λ середовищами, з розсіювальними центрами розміру d :

– геометричне ($d \gg \lambda$); світло розсіюється за законами геометричної оптики, причому всі довжини хвиль розсіюються однаково;

– дифракційне розсіювання ($d \approx \lambda$), характеризується найбільшим коефіцієнтом розсіювання, причому всі довжини хвиль розсіюються однаково;

– молекулярне (релєєвське) розсіювання ($d \ll \lambda$), характерне тим, що воно пропорційне до λ^{-4} .

Відомо, що коефіцієнт розсіювання світла:

$$k_p = I_p / I_0,$$

де I_p – інтенсивність розсіяного світла, I_0 – початкова інтенсивність подаючого світла. Графік залежності k_p від λ для середовища з розсіювальними центрами схематично зображено на рис. 1. Ця залежність має максимум у ділянці дифрак-



ційного розсіяння. З літератури відомо, що $\lambda_{\max} \approx 1,4d$, де d – характерний розмір розсіювальних центрів.

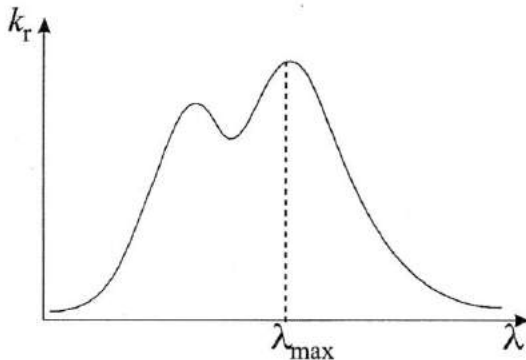


Рис. 1

Отже, для радіусу бульбашки маємо:

$$r \approx 0,7\lambda_{\max} . \quad (4)$$

Зважаючи на це, пропонуємо спосіб знаходження r . Справді, „молочна” вода характерна тим, що k_p майже однаковий для всіх довжин хвиль видимого світла (світло, розсіяне бульбашками, біле), крім того, k_p є дуже великим (мала прозорість „молочної” води). Це дає підстави вважати, що на бульбашках повітря у „молочній” воді відбувається дифракційне розсіяння світла. Для того, щоб у цьому переконатися, а також знайти r , ми визначили, що в діапазоні видимого світла ($\lambda = 400 \div 800$ нм) залежність $k_p(\lambda)$ має перегин і знайшли λ_{\max} .

Схема нашого дослідження зображена на рис. 2. Кювету з досліджуваною рідиною розміщали між джерелом, яке випромінює світло з певною довжиною хвилі λ та інтенсивністю I_0 та приймачем, який вимірює інтенсивність світла, що пройшло: $I_0 - I_p$ (рис. 2). Аналогічний дослід проводили також на рідині без бульбашок, щоб врахувати поглинання світла рідиною та втрати світла на відбивання. За результатами цих дослідів розраховували залежність $k_p(\lambda)$, вона зображена на рис. 3. Із залежності $k_p(\lambda)$ знаходили λ_{\max} , а за формулою (4) і r .

Такий дослід можна провести за допомогою спектрофотометра (якщо цей прилад автоматизований) за час близько секунди, що важливо для таких досліджень, оскільки бульбашки постійно спливають, змінюють розміри тощо. Триваліший час вимірювань даватиме запізнілу інформацію, що негативно вплине на точність результату.

Зауважмо, що видиме світло – це звичайні електромагнетні хвилі, такі ж як радіо- та ультрафіолетові хвилі, лише з іншою довжиною. Це дає змогу поширити запропонований нами метод визначення радіусу бульбашок на бульбашки всіх розмірів. Для цього досить лише перейти в інший діапазон довжин хвиль, такий, щоб й у ньому спостерігався максимум на кривій розсіяння світла.

Щоб визначити ν , за формулою (1) нам потрібно ще знайти концентрацію бульбашок n . Якщо бульбашки досить великого розміру, знайти n не складно, але якщо вони маленькі і невидимі ($r \sim 1$ мкм) проблема стає доволі складною. Для її розв’язання знову можна застосувати оптичний метод, використовуючи установку, зображену на рис. 2.

Якщо в експерименті використовувати хвилі з $\lambda \ll r$, то розсіяння на бульбашках буде геометричним, а для нього:

$$k_p^* = \frac{I_p}{I_0} = \frac{\pi r^2 \cdot n h S}{S} = \pi r^2 n h , \quad (5)$$

де k_p^* розраховується, як відношення перекритої бульбашками площі до площі променя S на шляху h (h – товщина кювети (рис. 2)).

Із формули (5) неважко отримати:

$$n = \frac{k_p^*}{\pi r^2 h} . \quad (6)$$

Підставляючи значення радіуса бульбашок у (2), (3) і (6), а отримані вирази в (1), остаточно маємо для 1 м³ рідини:

$$\nu = \frac{0,93(P_0 + P_n + 1,4\sigma/\lambda_{\max})k_p^*}{RTh} . \quad (7)$$

Запропонований нами метод має такі переваги: швидкодія, змога дистанційного вимірювання і висока точність, що актуально для малих r і n . Він може бути реалізований за допомогою автоматизованого пристрою, в основі роботи якого лежить оптична схема, зображена на рис. 2.

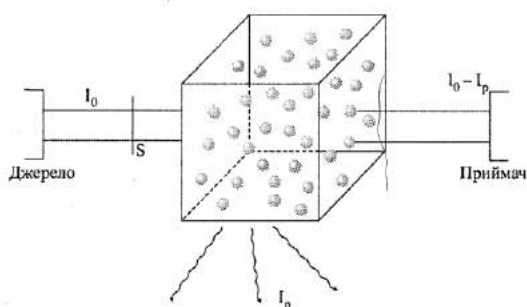


Рис. 2

Але зрозумілим також є й те, що цей метод не єдиний. Зокрема r можна було б знаходити за часом спливання бульбашок, користуючись формулою Стокса для сили опору, що діє на бульбашки під час руху у в'язкому середовищі. Проте цей метод поступається запропонованому за швидкістю, простотою проведення вимірювань. Також можна визначити кількість газу в бульбашках за провідністю рідини з бульбашками, оскільки зрозуміло, що вона залежить від розмірів і концентрації бульбашок у рідині. Теоретично встановити цю залежність досить складно, проте можна проградувати омметр, але для цього потрібно використовувати інший спосіб визначення v .

Насамкінець наведемо результати вимірювань, які здійснили, щоб перевірити застосовність запропонованої методики. На рис. 3 зображено

залежність $k_p(\lambda)$ для розчину молока у воді в діапазоні $\lambda = 400 + 800$ нм, яку отримали за допомогою спектрофотометра МКФ-3.

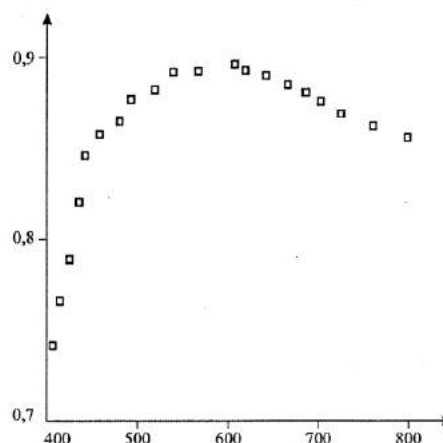


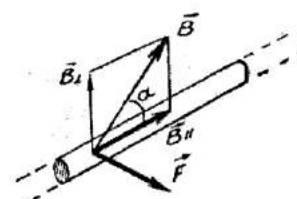
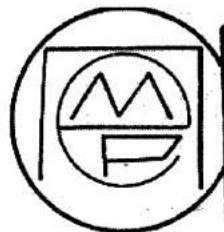
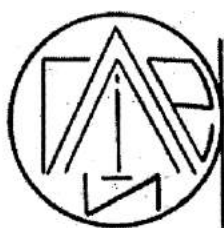
Рис. 3

Як видно, функція $k_p(\lambda)$ має максимум біля 600 нм, тобто розсіяння дифракційне. За цими даними, радіус жирових тілець молока $r \approx 420$ нм і це добре збігається з даними літературних джерел. Отже, запропонований спосіб працює і дає достовірні результати.

Сергій Ржепецький,
учень 11-го класу Львівського
фізико-математичного ліцею



Відагайте прізвища відомих фізиків з цих малюнків



Із книги М.М.Горбаня „На уроці та після...”

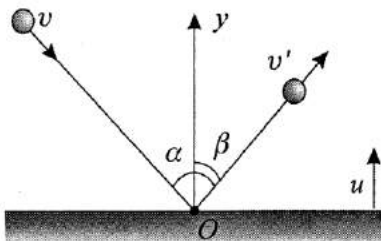
Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2002 р.

(Умови задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики
дивіться в журналі „Світ фізики”. 2002. № 1. С. 31–33)

10-й клас

Задача 1.

Розглянемо відбивання м'яча від ракетки



v – швидкість м'яча; u – швидкість руху ракетки;
 α – кут падіння м'яча від ракетки; β – кут відби-
вання м'яча від ракетки ($\alpha + \beta = 90^\circ$), v' – швид-
кість м'яча після відбивання.

Запишімо швидкість м'яча по осі Oy в системі
відліку, пов'язаній з ракеткою:

$$v_x = v \sin \alpha,$$

$$v_y = v \cos \alpha + u.$$

Після відбивання

$$v'_x = v' \sin \beta,$$

$$v'_y = v' \cos \beta - u.$$

Оскільки удар абсолютно пружний, то відпо-
відні компоненти швидкостей у системі відліку
пов'язаній з ракеткою мають бути рівними за
абсолютною величиною.

$$v \sin \alpha = v' \sin \beta,$$

$$v \cos \alpha + u = v' \cos \beta - u.$$

Звідси,

$$v' = v \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

отже,

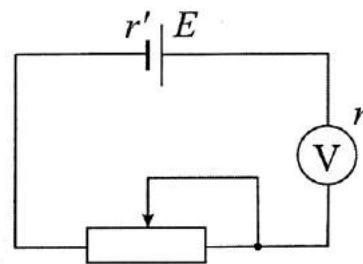
$$u = \frac{v}{2} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cos \beta + \cos \alpha \right).$$

Задача 2.

Розв'язок цієї задачі дивіться на .. стор. ?.

Задача 3.

Оскільки вольтметр показує спад напруги на сво-
їх клеммах, і якщо в коло ввімкнено джерело стру-
му та внутрішній опір вольтметра постійний, то
й спад напруги на його клеммах буде сталим. Оче-
видно, що у коло ввімкнено джерело напруги, тоді
в першому випадку струм у колі



$$I_1 = \frac{E}{R + r + r'}, \quad (1)$$

де r – внутрішній опір вольтметра, r' – внутріш-
ній опір джерела напруги. Показ вольтметра в
першому випадку $U_1 = I_1 r$.

У другому випадку

$$I_2 = \frac{E}{\frac{R}{3} + r + r'}, \text{ а } U_2 = I_2 r. \quad (2)$$

У третьому випадку

$$I_3 = \frac{E}{r + r'}, \text{ а } U_3 = I_3 r. \quad (3)$$

За умовою задачі $U_2 = 2U_1$, а треба знайти
 U_3/U_1 .

Із (3) маємо
$$r + r' = \frac{Er'}{U_3}.$$

З (1) маємо
$$U_1 = \frac{Er'}{R + \frac{Er'}{U_3}}. \quad (4)$$

З (2) маємо
$$2U_1 = \frac{Er'}{\frac{R}{3} + \frac{Er'}{U_3}}. \quad (5)$$

Нехай $U_3/U_1 = x$, тоді з (4) та (5):

$$\frac{2R}{3} + \frac{2Er'}{xU_1} = R + \frac{Er'}{xU_1}.$$

$$\frac{R}{3} = \frac{Er'}{xU_1}.$$

Підставмо в (4)

$$U_1 = \frac{Er'}{\frac{Er'}{4}}, \text{ звідси } x = 4.$$

Задача 4.

Під час проходження супутника через розріджене повітря, зміна його кінетичної енергії піде на подолання сили опору повітря.

Якщо він пройшов відстань ΔS , то втрата кінетичної енергії $\Delta U = \Delta \left(\frac{mv^2}{2} \right)$.

Тобто

$$\frac{m}{2}(v^2 - v_0^2) = -F \cdot 2\pi R,$$

Розклавши $v^2 - v_0^2 = (v - v_0)(v + v_0)$, та врахувавши, що $v - v_0 = \Delta v$, $v + v_0 \approx 2v_1$,

де $v_1 = \sqrt{gR}$ – перша космічна швидкість (висотою польоту порівняно з радіусом Землі, за умовою задачі, ми нехтуємо), маємо

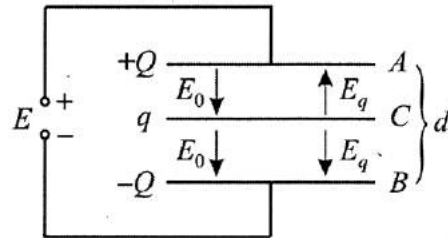
$$\Delta v = \frac{2\pi RF}{m\sqrt{gR}} \approx 17,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Задача 5.

Оскільки в умові до задачі не вказано до якої пластини (від'ємно зарядженої чи додатно) дано відстань x , розглянемо два випадки:

1. x – відстань до додатно зарядженої пластини конденсатора.

Всередині конденсатора є два електричних поля (див. рис.):



E_0 – поле створене зарядами $(+Q, -Q)$ пластин конденсатора, та поле $E_q = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$, створене зарядом пластини C . Напруга між обкладками конденсатора:

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = E.$$

$$E = (E_0 - E_q)x + (E_0 + E_q)(d - x).$$

Звідси,

$$E_0 = \frac{E - E_q(d - 2x)}{d}.$$

На пластину C діє поле конденсатора E_0 .

$$F_q = qE_0 = \frac{q}{d} \left(E - \frac{q}{2\epsilon_0 S} (d - 2x) \right).$$

2. x – відстань до від'ємно зарядженої пластини конденсатора

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB} = E.$$

$$E = (E_0 - E_q)(d - x) + (E_0 + E_q)x.$$

Звідси

$$E_0 = \frac{E - E_q(2x - d)}{d}.$$

На пластину C діє поле конденсатора E_0 .

$$F_q = qE_0 = \frac{q}{d} \left(E - \frac{q}{2\epsilon_0 S} (2x - d) \right).$$

11-й клас

Задача 1.

Індукована електрорушійна сила, яка виникає зі зміною магнетного потоку, що пронизує контур дорівнює:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Оскільки $d\Phi = d(BS) = BdS$, а $dS = v dt$, то

$$\mathcal{E}_i = -Blv.$$

Вся електрорушійна сила індукції спадає на перемичці, тому

$$\mathcal{E}_i = U_R,$$

де $U_R = IR$ – спад напруги на перемичці, I – струм, який протікає через неї.

За законом Ампера, сила, яка діє на перемичку

$$F = Ibl \sin[\angle(\vec{B}, \vec{I})].$$

Тому

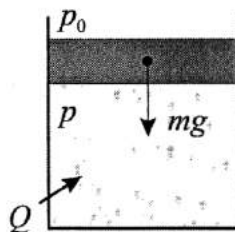
$$F = \frac{B^2 l^2}{R} v.$$

Задача 2.

Оскільки поршень рухається без прискорення, то з умови рівноваги сил, які діють на нього запишемо:

$$p_0 S + mg = pS, \quad (1)$$

де p – тиск газу під поршнем.



Теплота, яка підводиться до газу йде на збільшення його внутрішньої енергії та виконання ним роботи при збільшенні об'єму

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A,$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} R \Delta T, \quad \Delta A = p \Delta V.$$

Зміна об'єму газу $\Delta V = Sv \Delta t$, тому врахувавши (1), отримаємо:

$$\Delta Q = \frac{3}{2} R \Delta T + pSv \Delta t. \quad (2)$$

Знайдемо роботу під час ізобарного процесу

$$p \Delta V = R \Delta T \quad (v = 1).$$

Звідси

$$\Delta T = \frac{pSv \Delta t}{R}.$$

Із (2) маємо:

$$\Delta Q / \Delta t = \frac{5}{2} pSv,$$

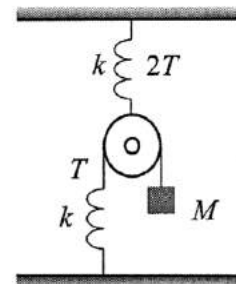
а врахувавши (1)

$$\Delta Q / \Delta t = \frac{5}{2} \left(p_0 + \frac{mg}{S} \right) Sv.$$

Задача 3.

Нехай T – сила натягу нитки (нижньої пружини)

$$T = Mg.$$



Нехай нижня пружина розтягнена на Δl від того рівноважного положення яке було при стані спокою всієї системи. Тоді

$$T_{\Delta l} = T + k \Delta l.$$

Відповідно верхня пружина розтягнеться на

$$\frac{2T_{\Delta l} - 2T}{k} = 2 \Delta l.$$

Отже, вантаж зміститься з положення рівноваги на $3 \Delta l = x$.

За другим закон Ньютона маємо рівняння руху:

$$-k \Delta l = M \ddot{x}.$$

або

$$-k \frac{x}{3} = M \ddot{x}.$$

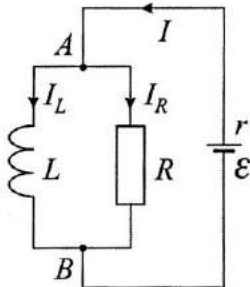
Зрозуміло, що розв'язком цього рівняння є гармонічні коливання, з циклічною частотою

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{3M}} \quad \text{або періодом} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{3M}{k}}.$$

Задача 4.

Закон Ома для повного кола

$$Ir + U = \mathcal{E},$$



де I – повний струм у колі, $U = L \frac{dI_L}{dt} = I_R R$ – спад напруги між точками A та B .

$$I_R = \frac{L}{R} \frac{dI_L}{dt}.$$

$$Q_R = \int_0^{\infty} I_R dt = \frac{L}{R} \int_{I_{L\text{ поч}}}^{I_{L\text{ кінц}}} dI_L.$$

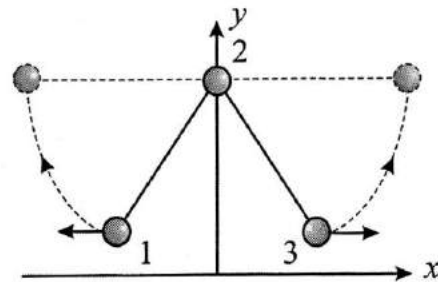
У початковий момент струм через котушку дорівнює $I_{L\text{ поч}} = 0$, а в кінцевий момент, оскільки маємо випадок постійного струму, $I_{L\text{ кінц}} = \mathcal{E}/r$.

Отже,

$$Q_R = \frac{L\mathcal{E}}{Rr}.$$

Задача 5.

З міркувань симетрії у другій кульки лише вертикальна швидкість. Повний імпульс системи дорівнює нулеві.



$$v_{3x} = -v_{1x}, \quad v_{3y} = v_{1y}, \quad v_{2x} = 0.$$

Імпульс

$$mv_{3y} = mv_{1y} = mv_{2y} = 0, \quad v_{2y} = -2v_{1y}.$$

Оскільки відстані між кульками 1 та 2 і 3 та 2 однакова, то повна кінетична енергія змінюватиметься за рахунок зміни відстані між кульками 1 та 3. Максимальна відстань між ними $2a$, тоді й буде максимум їх кінетичної енергії. Зрозуміло, що в цей момент $v_{3x} = v_{1x} = 0$ і маємо максимум їх вертикальних швидкостей, а отже, і максимум швидкості другої кульки.

$$\frac{m}{2} (v_{1y}^2 + v_{2y}^2 + v_{3y}^2 + v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + v_{3x}^2) =$$

$$\frac{m}{2} (2v_{1y}^2 + 4v_{1y}^2) = 3mv_{1y}^2 = \frac{q^2}{a} - \frac{q^2}{2a} = \frac{q^2}{2a}.$$

Звідси $v_{1y} = \frac{q}{\sqrt{6ma}}.$

Швидкість другої кульки

$$v_{2y} = q\sqrt{\frac{2}{3ma}}.$$

Розв'язки підготували Віталій Лесівців, Тарас Фітьо

Під час проведення олімпіад різного рівня в умовах задач часом трапляються некоректні формулювання, а в розв'язках іноді бувають помилки. Відрадно те, що після проведення олімпіад чи турнірів, багато школярів продовжують аналізувати завдання та шукають правильні розв'язки.

Невдовзі після проведення III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики до редакції журналу „Світ фізики” надійшов лист від учасника олімпіади Сергія Барановського з його баченням розв'язку задачі 2 (10-й клас), який пропонуємо вашій увазі.

Запрошуємо й інших читачів ділитися своїми міркуваннями з тих чи інших проблем фізики на сторінках нашого журналу.

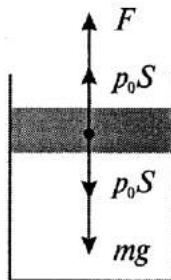
Шановна редакціє!

Хочу з читачами журналу „Світ фізики” обміркувати задачу 2 (10-й клас) обласної олімпіади школярів Львівщини з фізики 2002 р.

Умова цієї задачі така:

У теплоізолюваній циліндричній посудині під поршнем міститься один моль ідеального газу при тиску вдвічі меншому, ніж атмосферний і температурі T . Поршень може вільно рухатись у бік збільшення об'єму і втримуватись стопором від протилежного руху. Внутрішня енергія газу $U = CT$. Газова стала R . Яку кількість теплоти потрібно подати газіві, щоб його об'єм збільшити вдвічі.

Журі олімпіади під час оцінювання роботи учасників наполягало на такому „розв'язкові”:



$pS + F = mg + p_0 S$ – умова рівноваги поршня.
де p_0 – атмосферний тиск, mg – сила тяжіння, F – сила стопора.

$$p = p_0 + \frac{mg - F}{S} = \text{const}.$$

$$\Delta Q = \Delta U + A.$$

$$\Delta U = C\Delta T = C(T_1 - T).$$

Із рівняння стану

$$\frac{p_0 V_0}{T} = \frac{2p_0 V_0}{T_1}, \text{ звідси } \frac{1}{T} = \frac{2}{T_1}, \text{ або } T_1 = 2T.$$

$$\Delta U = C(2T - T) = CT.$$

Робота газу йде на зміну потенціальної енергії поршня і на роботу проти сили стопора.

$$A + F(2h - h) = mg(2h - h).$$

$$A = (mg - F)(2h - h) = (mg - F)h.$$

$$p = \frac{p_0}{2}, \text{ звідки } \frac{mg - F}{S} = \frac{p_0}{2}.$$

$$A = \frac{p_0}{2} Sh = \frac{p_0 V_0}{2} = \frac{RT}{2},$$

Отже,
$$\Delta Q = T \left(C + \frac{R}{2} \right).$$

З цим розв'язком я не погоджуюсь з таких принципів, на мою думку, положень:

по-перше – сила взаємодії зі стопором, за цим розв'язком, виконує додатню роботу (піднімає поршень) – що неможливо;

по-друге – тиск увесь час сталий – за розв'язком, (що теж неможливо, бо сила стопора не може підняти поршень, отже, тиск має зростати доти, поки тиск усередині $p < p_0 + mg/S$);

по-третє – у розв'язку не враховано роботи проти сил зовнішнього тиску (атмосферного тиску).

На мою думку, цю задачу можна розв'язати так:

Оскільки масу поршня не дано, є єдиний вихід – рахувати теплоту без зміни потенціальної енергії поршня. Тоді робота піде на подолання сили зовнішнього тиску, але для цього потрібно, щоб тиск у посудині став таким, як і ззовні:

$$p_1 = p_0.$$

Запишімо також закон Менделєєва-Клапейрона для початку і кінця ізохорного процесу

$$\frac{1}{2} p_0 V_0 = RT, \quad p_0 V_0 = RT_1.$$

Звідси
$$\Delta T_1 = \frac{p_0 V_0}{2R} = T$$

або
$$p_0 V_0 = 2RT.$$

Далі при сталому тиску ми піднімаємо поршень догори. Умова рівноваги буде:

$$p = p_0,$$

а виконана робота є

$$A = p_0(2V_0 - V_0) = p_0 V_0 = 2RT.$$

Запишімо рівняння Менделєєва-Клапейрона для початку і кінця ізобарного процесу:

$$p_0 V_0 = RT_1, \quad 2p_0 V_0 = RT_2,$$

звідси,
$$\Delta T_2 = T_2 - T_1 = \frac{p_0 V_0}{R} = 2T,$$

за законом збереження енергії,

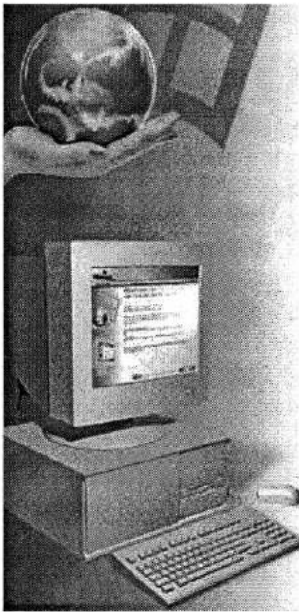
$$\Delta Q = \Delta U + A. \quad \Delta U = C\Delta T.$$

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 = T + 2T = 3T.$$

$$A = R\Delta T_2 = 2RT,$$

отже,
$$\Delta Q = 2RT + 3CT.$$

Чи знаєте Ви, що...



Сонячні нейтрино

Можливим розв'язанням проблеми дефіциту сонячних нейтрино є нейтринні осциляції – перетворення електронних нейтрино в мюонні і τ -нейтрино. Основним джерелом високоенергетичних нейтрино на Сонці є β -розпад ізотопів ${}^8\text{B}$, які виникають завдяки реакції ${}^7\text{Be} + p \rightarrow {}^8\text{B}$. Для надійного розрахунку потоку сонячних нейтрино потрібно знати переріз цієї реакції з точністю не меншою ніж 5%. Дослідники із США та Канади, вивчаючи зіткнення протонів з берилієвою мішенню, визначили переріз реакції з потрібною точністю. Розрахунок за новими даними свідчить, що потік електронних нейтрино від Сонця на 17% більший, ніж вважали раніше, і, відповідно, нейтринні осциляції мають відбуватись частіше, ніж передбачалось.

Взаємодія нейтрино з нуклонами

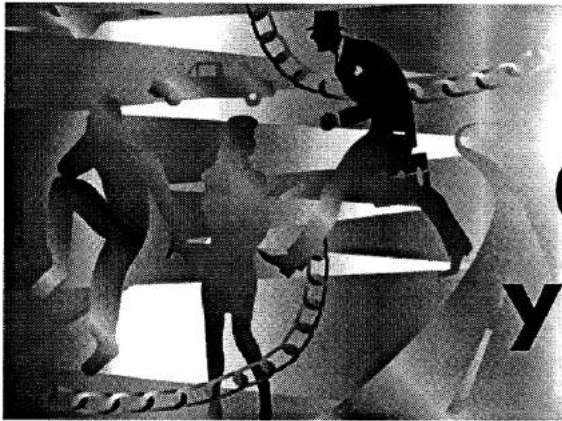
У лабораторії імені Фермі (Чикаго) учені вивчають зіткнення високоенергетичних нейтрино з нуклонами. В експериментах досліджується внесок заряджених і нейтральних слабких струмів у переріз взаємодії. Заряджені струми переносяться W -бозонами і зумовлюють перетворення мюонного нейтрино в мюон. Обмін нейтральними Z -бозонами не приводить до утворення мюонів. Це дає змогу розрізняти події, зумовлені зарядженими і нейтральними слабкими струмами. Нейтрино, що використовуються у цих експериментах, є одним із продуктів розпаду піонів і каонів, що з'являються внаслідок зіткнення прискорених протонів з мішенню із окису берилію. Реєстрація взаємодій нейтрино з ядрами здійснювалось за допомогою складного детектора масою 700 т. Результати багаторічних досліджень виявились відмінними від передбачень Стандартної моделі елементарних частинок. Досі Стандартна модель з високою точністю описувала всі експериментальні дані, за винятком даних про нейтринні осциляції. Розбіжності з передбаченнями можуть означати існування нових взаємодій або нових частинок.

Нові технології

Е. Галтман і його колеги отримали нову форму фулерена $\text{C}_{48}\text{N}_{12}$, в якій порівняно зі звичайним фулереном C_{60} , частина атомів вуглецю заміщена атомами азоту. У кристалі фулерену C_{60} молекули сполучені між собою слабкими ван-дер-ваальсівськими силами. Атоми азоту привела до появи сильніших ковалентних зв'язків. Завдяки цьому кристал $\text{C}_{48}\text{N}_{12}$ має унікальне поєднання міцності й пластичності.

Лише нещодавно у полімеризованих фулеренах учені виявили феромагнетні властивості, і вже дослідники із США (університет штату Небраска) у полімеризованій формі бензолу, яку вони отримали, виявили в 100 разів сильніші феромагнетні властивості. Новий полімер складається з ділянок, що містять чотирнадцять молекул бензолу, вісім із яких утворюють кільце, а решта – шість молекул сполучають його з іншими кільцями.

Ю. Гао і Ю. Бандо (Японія) сконструювали мікроскопічний термометр, яким є вуглецева нанотрубка, діаметром 75 нм, частково заповнена рідким галієм. Подібно до стовпчика ртуті у звичайному термометрі, висота стовпця галію майже лінійно збільшується із зростанням температури. Положення межі стовпця визначається за допомогою сканувального тунельного мікроскопу. Термометр дає змогу вимірювати температуру від 323 до 823 К. Розмір самої нанотрубки під час таких змін температури майже не змінюється.



Спецслужби у долі видатних учених

Видатні учені завдяки своєму впливові на суспільний прогрес завжди користуються великою популярністю. Їхньої уваги і спілкування домагаються політичні діячі, журналісти, їх вистежують на вулиці і, навіть, на відпочинку. Крім громадськості, увагу на них звертають й інші...

Нещодавно стало відомо, що А. Айнштайн у США перебував під пильним наглядом ФБР.

Незважаючи на те, що А. Айнштайн підписав лист президентові США з попередженням, що виготовлення атомної бомби реально і що в Німеччині напевно вже працюють над її створенням, самого Айнштайна в США не допустили до роботи над її створенням. Учений зі своїм незалежним характером і поведінкою не влаштував військових, які прагнули повного контролю над творцями атомної зброї. Однак військовим керівництвом А. Айнштайн був включений до попереднього списку виконавців Манхетенського проекту. Цей список потрапив на затвердження до Гувера (директора ФБР). Резолюція Гувера: „Мало ймовірно, що людина з таким минулим, може стати за такий короткий час лояльним американським громадянином” – вирішила долю ученого.” 26 липня 1940 року керівники Манхетенського проекту не дали А. Айнштайнові „допуску” до роботи над створенням атомної бомби. Стеження за А. Айнштайном, що розпочалось під час Другої світової війни, тривало аж до його смерті (1955). Матеріали справи, заведеної на А. Айнштайна, містять 1400 сторінок і можна лише сподіватись, що гроші платників податків США витрачені не даремно, адже в справі можуть бути документи, які доповнять невідомі досі факти біографії А. Айнштайна.

Це непоодинока історія з видатними ученими.

У серпні 1945 року в СРСР під керівництвом Л. Берії почав працювати Спеціальний комітет, до якого входили учені П. Капиця, А. Алеханов, І. Курчатова. Завдання комітету полягало у розробленні програми зі створення атомної бомби у СРСР. П. Капиця дуже швидко зіпсував стосунки з Берією і написав листа Й. Сталінові, у якому просив звільнити його від роботи у цьому комітеті, посилаючись на те, що Берія керує роботою не професійно, а як диригент, який не знає партитури. По суті, він мав рацію. Очевидно, що керівник держбезпеки не розумівся у тонкощах фізики.

Однак тепер зрозуміло, що П. Капиця мимоволі дратував голову комітету, тим, що постійно наполягав: „Чому ми маємо йти шляхом американського проекту, повторювати те, що здійснили вони? Потрібно знайти власний шлях створення атомної бомби.” Такі погляди типові для учених, які намагаються творити, а не повторювати те, що винайшли інші.

Та насправді, П. Капиця не все знав, Л. Берія мав дуже точні креслення (партитури) цього винаходу людства з усіма розмірами, матеріалами, технологіями. Ці унікальні матеріали роздобула розвідка. Отже, Л. Берія знав про бомбу на той час значно більше, ніж П. Капиця.

Цей конфлікт призвів до того, що Петра Капицю восени 1946 року звільнили з усіх посад, і він, по суті, потрапив на заслання на свою дачу під Москвою, де провів вісім років, не маючи змоги серйозно займатись науковими дослідженнями.



КОНКУРС

„НАУКОВА КНИГА”

Журнал „Світ фізики” оголошує конкурс на найкращу книжку 2002 року в номінації „Наукова книга”.

Просимо надсилати до редакції книжки, видані в Україні 2002 року.

Читачів журналу ми знайомитимемо зі змістом книжок, друкуватимемо рецензії на них, розміщатимемо інформацію про авторів та видавництва. Переможців чекають призи.

Про умови конкурсу читайте в журналі „Світ фізики”. 2002. № 1

Серія БІБЛІОТЕКА „СВІТ ФІЗИКИ”

Олекса Біланюк. Тахіони. Вибрані публікації до 40-річчя тахіонової гіпотези. – Львів: Євросвіт, 2002. – 160 с.: іл.

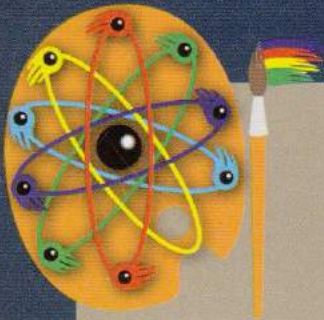
Книга містить вибрані публікації відомого ученого США українського походження, іноземного члена НАН України, дійсного члена Наукового товариства імені Шевченка, президента Української Вільної Академії Наук, Олекси-Мирона Біланюка, який має наукові досягнення світового рівня з теоретичної та експериментальної фізики і є автором гіпотези про тахіони. Праці подані мовами оригіналу: англійською, італійською, французькою, російською та українською. Подано статтю професора Р. Гайди про автора, перелік вибраних наукових та науково-популярних публікацій О. Біланюка. Для науковців, викладачів, студентів, учителів, усіх хто цікавиться фізикою.



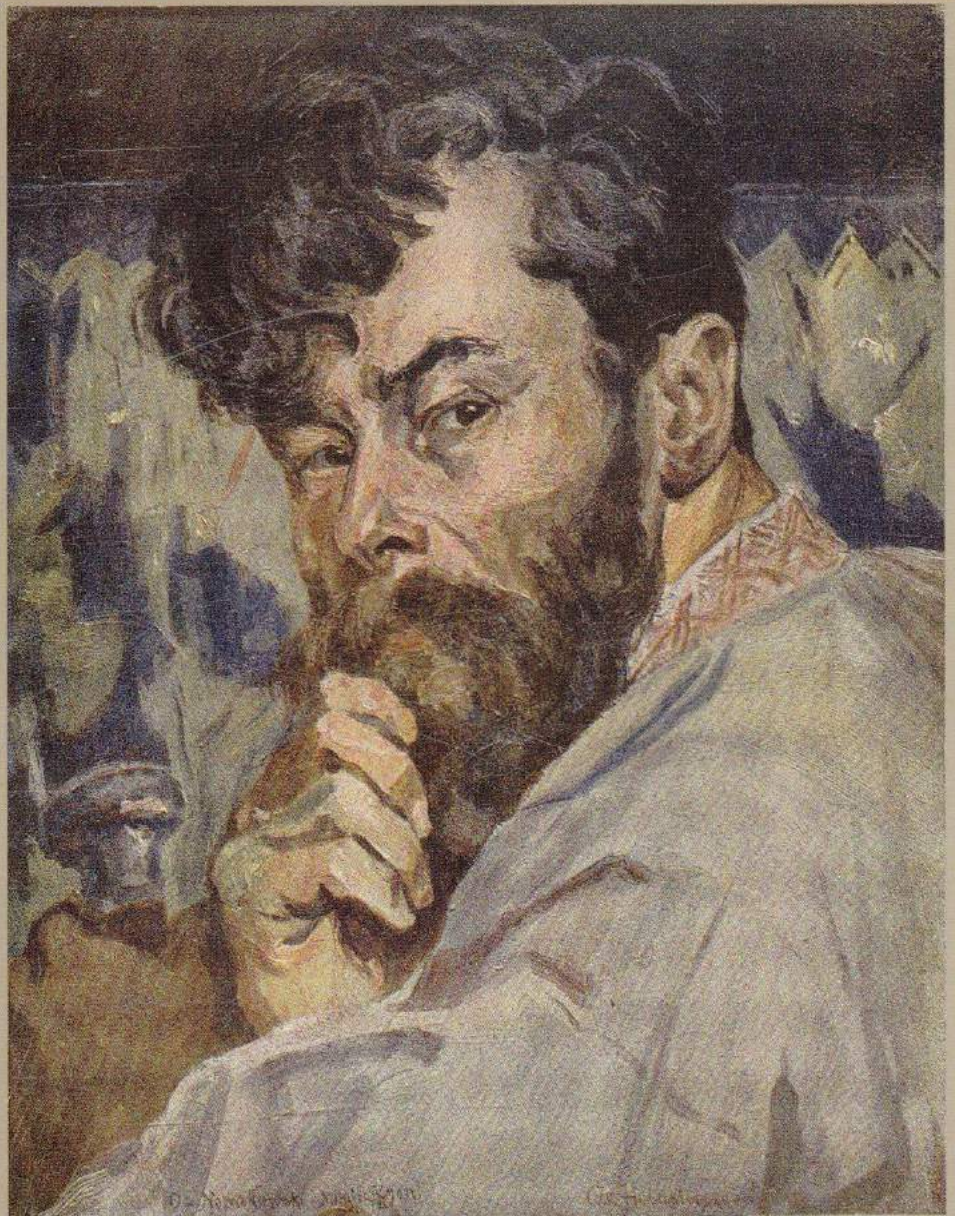
ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

1. Краус Іво. Вільгельм Конрад Рентген. Нашадок щасливої випадковості/ Пер. з чеської В. Іванової-Станкевич. – Львів: Євросвіт, 2002. – 84 с.: іл.
2. Геодезичний енциклопедичний словник /Під ред. Володимира Літинського. – Львів: Євросвіт, 2001. – 666 с.: іл.
3. Поп С., Шароді І. Фізична електроніка. – Львів: Євросвіт, 2001. – 240 с.: іл.
4. Зербіно Д. Наукова школа: лідер і учні. – Львів: Євросвіт, 2001. – 208 с.: іл.
5. Гайда Р., Пляцко Р. Іван Пулой – загадка універсального таланту (нім. мовою). – Львів: Євросвіт, 2001. – 264 с.: іл.
6. Довгий Я. Чарівне явище надпровідність. – Львів: Євросвіт, 2000. – 440 с.
7. Осягнувши найбільшу Любов. – Львів: Євросвіт, 2001. – 184 с.: іл.
8. Алексейчук В., Гальчинський О., Шопя Г. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки. – Львів: Євросвіт, 2000. – 168 с.
9. Максимчук В.Ю., Городиський Ю.М., Кузнецова В.Г. Динаміка аномального магнітного поля Землі. – Львів: Євросвіт, 2001. – 308 с.: іл.
10. Гаральд Іро. Класична механіка /Переклад з нім. Р.Гайди, Ю.Головача /За ред. І.Вакарчука. – Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 1999. – 464 с.
11. Вакарчук І. Вступ до проблеми багатьох тіл. Посібник. – Львів: ЛНУ ім.І.Франка, 1999. – 220 с.
12. Вакарчук І. Квантова механіка. – Львів: ЛДУ ім. І.Франка, 1998. – 616 с.: 73 іл.
13. Франко І. Абу-Касимові капці. – Львів: Євросвіт, 1998: – 96 с.: 10 іл.
14. Попович О. Партії та розповіді шахіста з Америки. – Львів: Академічний експрес, 1996. – 153 с.
15. Серія книг В. Круковської про українські звичаї святкувати християнські свята: Святкуймо Миколая, Різдво, Великдень, Зелені Свята, Івана Купала, Андріївські вечорниці, Уклін і шана матерям.

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



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



**Олекса Новаківський (1872-1935)
АВТОПОРТРЕТ (1911)**

Ім'я Олекси Новаківського, видатного живописця і графіка, одного з найпрославленіших колористів свого часу, нерозривно пов'язане з історією національного мистецтва ХХ ст. Його твори "Моя Муза", "Втрачені надії", панно "Наука", "Мистецтво", "Довбуш", "Юра Греггі", "Автопортрет з квіткою" шляхетністю образів, могутністю духа, силою героїчних зусиль прославляють людські діяння, скеровані до вищих гуманних ідеалів. Таким же Новаківський був педагогом, що виховав плеяду творців наступного покоління, які пронесли його світлі ідеали і віру у вільну Україну впродовж усього ХХ ст. на батьківщині та в діаспорі.



Вперше виходить з друку англomовне видання журналу "Світ фізики".

Незабудьте передплатити журнал "Світ фізики" на II півріччя 2002 року

Передплатний індекс 22577

**Адреса редакції: 79005 м. Львів вул. Саксаганського, 1
Тел.: (0322) 40-31-88**