

С В І Т

ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

№ 2 '98

*Він більше, ніж будь-хто інший,
може вважатися "батьком"
сучасної електроніки*

Микола Голоняк



- 225 років викладання фізики у Львівському університеті

Новий університетський факультет

Факультет доуніверситетської підготовки — наймолодший у Франковому вузі. Його утворено у 1997 р. Поява такої структури зумовлена необхідністю побудови органічного зв'язку між університетом і середніми навчальними закладами. Факультет складається з трьох структур — **підготовчого відділення для громадян України, підготовчих курсів та підготовчого відділення для іноземних громадян.**

Навчання на підготовчому відділенні стаціонарне і платне. Прийом слухачів здійснюється на конкурсній основі. При зарахуванні враховуються пільги встановлені Урядом, перевага надається вступникам з сільської місцевості, а також тим, хто має стаж трудової діяльності. Навчальний процес забезпечується кафедрами університету. Форми контролю успішності максимально наближені до вступних випробувань (тестувань). Випускники підготовчого відділення, що мають високий рейтинг скеровуються на співбесіду, на підставі результатів якої проводиться зарахування на перший курс.

Одним з перспективних напрямів роботи факультету є розвиток підготовчих курсів. Курси утворено в 1957 р. Існують такі види підготовки: **комплексні підготовчі курси, курси з вивчення окремих предметів, літні курси для абітурієнтів.** На комплексних підготовчих курсах, які працюють з жовтня до травня, навчаються учні-випускники шкіл, середніх навчальних закладів. В окремих випадках, громадяни, що вже мають середню освіту. Усі вони отримують статус слухачів факультету доуніверситетської підготовки. Навчання платне і здійснюється за рахунок як фізичних так і юридичних осіб.

На комплексних курсах вивчаються предмети, які виносяться на вступні випробування на конкретний факультет. Слухачі відвідують заняття три або чотири рази на тиждень у вечірній час. Навчання закінчується випускними екзаменами у формі тестувань. Для випускників курсів у правилах прийому до університету передбачені пільги.

Зважаючи на звертання районних держадміністрацій Львівщини, а також сусідніх областей про надання допомоги учням цих районів у підготовці до вступу та навчання у франковому університеті, планується відкрити **філії підготовчих курсів.** Це дасть змогу значній частині молоді, особливо із сільських і віддалених населених пунктів, залучитися до опанування університетської тестової програми, підвищити свій шанс вступу до вузу, а також підтримувати тісніші зв'язки зі школою. З січня 1998 р. почала працювати філія у м. Буську на базі гімназії ім. Є. Петрушевича. Триває підготовка до відкриття філій підготовчих курсів на Сколівщині, Стрийщині, Миколаївщині, та в інших районах. Плануємо також впровадити заочну форму навчання на курсах.

Інший вид підготовки — це **курси з вивчення окремих предметів за вибором.** Працюють вони з січня до травня. Переважно тут навчаються учні випускних класів. Слухачами можуть стати дев'яти- та десятикласники. Оплата диференційована залежно від кількості слухачів у групі.

На факультеті працюють **літні курси для абітурієнтів,** які проводяться безпосередньо перед вступними випробуваннями у червні-липні. Оплата за навчання залежить від кількості слухачів і кількості навчальних годин. Слухачі забезпечуються гуртожитком.

Для вступу на усі види курсів необхідно подати заяву на ім'я ректора, довідку з місця навчання і дві фотографії.

Підготовче відділення для іноземних громадян функціонує в університеті більш, ніж двадцять років. Тут навчаються української мови та інших предметів, необхідних для здобуття освіти в Україні, слухачі з різних країн світу. Вони мають змогу ширше познайомитись з історією, культурою і традиціями українського народу. Крім того, підготовче відділення для іноземців пропонує різноманітні інтенсивні мовні курси для окремих осіб чи невеликих груп.

Протягом п'яти років при відділенні працює літній інститут Канзаського університету (США), де проходять студії україністики американські громадяни. Навчання триває шість тижнів, протягом яких студенти з Америки інтенсивно вивчають українську мову, слухають оглядові лекції про сучасну ситуацію в Україні та виконують наукові дослідження в бібліотеках та архівах Львова.

Адреса для листування :

пр. Свободи, 18, к. 305, м. Львів, Україна
тел. : (380 0322) 79-41-96, (380 0322) 79-41-39

Степан Семак,
декан факультету
доуніверситетської підготовки

Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180
від 6.11.1997 р.

Засновники:
Львівський держуніверситет
ім. Ів. Франка,
Львівський фіз.-мат. ліцей,
СП "Євросвіт"

Головний редактор
Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:
О. Гальчинський,
Г. Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк
М. Бродин
П. Голод
С. Гончаренко
Р. Гайда
Я. Довгий
І. Климишин
Ю. Ключковський
Ю. Ранюк
Й. Стахіра
Р. Федорів

Художник **Володимир Гавло**
Комп'ютерний набір і верстка
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:
м. Львів, вул. Січових Стрільців,
19,
тел./факс 380 322 72 37 04,
sach@lpml.lviv.ua
Адреса для кореспонденції:
290502, м. Львів,
вул. Університетська, 1
редакція журналу "Світ фізики"

Шановні вчителі!

Цей номер журналу вийде напередодні
Вашого професійного свята і тому
скористаємось цією нагодою, поміркуємо про
важливість Вашої щоденної кропіткої праці.

Відома істина, що держава, в якій немає
належної системи освіти, не може
претендувати на авторитет, економічне
зростання, на помітну роль у розвитку
цивілізації.

Наша держава переживає складний
економічний етап свого розвитку, не
вистачає фінансів, спостерігається затримка
заробітної плати, інші негаразди. Ці
проблеми гостро позначаються на освіті.

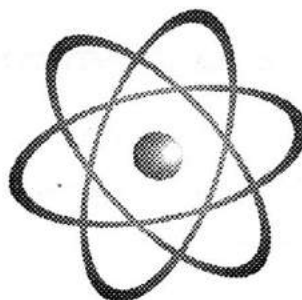
В цей час зростає роль Вчителя як особи,
що своїм авторитетом, своїм самовідданим
відношенням до професії зможе згладити
негативні тенденції нашого часу.

Безпідставно сподіватись, що з сучасних
учнів в майбутньому виростуть відомі вчені,
талановиті інженери, високопрофесійні
економісти, якщо в них не буде гідних
Вчителів.

Тому, шановні Вчителі, на Вас, вашу роботу,
покладається велика історична місія
плекання майбутнього інтелекту нашої
держави.

Вітаємо Вас із професійним святом!
Зичимо Вам і вашим учням успіхів і
вагомих творчих досягнень.

Редколегія



1. Нові і маловідомі явища з фізики

Новосядлий Богдан. Прихована маса у
Всесвіті та компактні об'єкти
Галактики 3

2. Про фізиків України

О.Попель, Р.Лаврицький, І.Стефанський.
125 років кафедр теоретичної та
експериментальної фізики 7

Шопа Галина. Життя для науки й
України... (Пам'яті Романа Ґайди) 13

3. Фізика світу

Довгий Ярослав. Джон Бардін 18

4. Олімпіади, турніри... 23

5. Творчість юних

Фаренюк Олег. Тертя спокою 29

Деніщук Олександр. Аркуш паперу 33

6. Розв'язки задач

Всеукраїнська олімпіада з фізики
(1997 р.) 35

IV Соросівська олімпіада школярів
України 40

7. Реальність та фантастика

Гулак Микола. Гарячий лід 47

Кратко Мирослав, Полетило Сергій.
Невідомий Гулак 48





Прихована маса у Всесвіті та компактні масивні об'єкти Галактики

Б. Новосядлий,

старший науковий співробітник
Астрономічної обсерваторії

Львівського держуніверситету ім. Ів. Франка

Яка речовина заповнює Всесвіт? Здавалось би, відповідь очевидна. Тверді тіла, рідини, гази, молекули й атоми, які ми маємо на Землі та спостерігаємо на інших планетах та зорях, складаються з елементів таблиці Менделєєва. Ці у свою чергу, збудовані з елементарних частинок — протонів та нейтронів, які є найпоширенішими представниками широкого класу елементарних частинок (баріонів), та електронів — типових представників класу легких частинок (лептонів). Оскільки маса баріонів на 3 порядки більша від маси лептонів, а кількість їх приблизно однакова, то відповідь напрошується така: основну масу Всесвіту складає баріонна речовина. Однак проблема виявилась значно складнішою...

Вивчення особливостей обертання спіральних галактик (залежність орбітальних швидкостей зір від відстаней до центру галактики), радіальних швидкостей галактик у багатьох скупченнях галактик, їх рентгенівської світності вказують на те, що масивної речовини у Всесвіті в 10-20 разів більше від тієї, яку ми бачимо за допомогою оптичних, рентгенівських та радіотелескопів. Неспостережувану масивну речовину називають прихованою масою. Яка її природа? Пошуками відповіді на це запитання зайняті сьогодні великі колективи вчених у багатьох країнах світу.

Астрофізичні підстави існування прихованої маси

Проблема прихованої маси вперше згадана швейцарським астрофізиком Цвікк¹ ще в 30-х роках (Zwicky F., 1933, Helv. Phys. Acta. 6, 10), коли він виявив, що видимої речовини у формі зір, міжзоряного газу і галактик

недостатньо, щоб групи і скупчення галактик були гравітаційно зв'язаними. Астрофізичні дослідження останніх двох десятиріч років підтвердили факт великої різниці у значенні середньої густини видимої і динамічної маси. На сьогодні встановлено, що вклад усіх галактик і гарячого газу зі скупчень галактик в середню густину Всесвіту (в одиницях критичної густини¹ $\Omega = \rho/\rho_{кр}$) становить $(3-7) \cdot 10^{-3}$.

Водночас для пояснення кривих обертання зір в галактиках необхідна маса з $\Omega \sim 0.1$. Цей аргумент на користь існування прихованої маси в масштабах 10 - 100 кпк² є найвагомим і бере свій початок з піонерських робіт Віри Рубін в 70-х роках по вивченню обертання галактик на основі спостережень нейтрального водню на довжині хвилі 21 см. Як з'ясовано, в масштабах скупчень галактик (1 - 10 Мпк) необхідна маса з $\Omega \sim 0.2 - 0.3$, щоб пояснити їх динамічну рівновагу і їх рентгенівську світність (Briel U.G., Henry J.P., Bohringer H., Astron and Astrophys., 1992, 259, L31). Це значення підтверджується також гравітаційним лінзуванням квазарів скупченнями, що знаходяться на промені зору до них (Tyson J.A., Fisher P., ApJ, 1995, 446, L55).

У більших масштабах (~10 - 100 Мпк) дані про пекулярні³ швидкості великих об'єктів галактик вказують на $W > 0.3$ (Dekel A., Bertschinger R., Yahil A., Strauss M., Davis M., Huchra J., ApJ, 1993, 412, 1).

¹ Критичною густиною Всесвіту називають середню густину всіх форм його речовини (баріони, випромінювання, прихована маса), при якій кривина 3-мірного простору рівна нулю. Її значення в сучасну епоху $\rho_{кр} = 5 \cdot 10^{-30}$ г при значенні сталої Хаббла 50 км/сМпк.

² Парсек (пк) — одиниця виміру відстаней в астрономії; 1 пк = $3.086 \cdot 10^{18}$ см, кпк = 10^3 пк, Мпк = 10^6 пк.



Інформацію про Ω у ще більших масштабах (>100 Мпк) отримують з аналізу анізотропії реліктового мікрохвильового фону. Виявлені в експерименті COBE (Cosmic Background Explorer, Smoot G. et al., ApJ, 1992, 396, L1) флуктуації температури реліктового випромінювання підтверджують гіпотезу про масштабно-інваріантний (незалежний від масштабу) спектр флуктуацій густини, який є природний у стандартній гарячій моделі Всесвіту з інфляційною⁴ стадією в дуже ранню епоху. Така модель передбачає $\Omega \sim 1$.

Отже, видима матерія в галактиках у формі зір і газу складає менше 10% динамічної маси.

Кандидати в приховану масу

Що є неспостережувана в жодному діапазоні електромагнітного випромінювання маса, яка проявляється, однак, гравітаційною дією? Спектр можливих кандидатів дуже широкий. Ними можуть бути неспостережувані форми баріонної речовини (планети типу Юпітера, коричневі карлики, чорні діри) або матерія у формі слабковзаємодіючих частинок. Сучасні теорії елементарних частинок і єдиних взаємодій передбачають цілий “зоопарк” таких частинок. Це і аксіони, які з’являються в теорії при спробі пояснити відсутність електричного дипольного моменту у нейтрона (розв’язок CP проблеми), і частинки, які приймають участь лише в слабкій і гравітаційній взаємодіях і з’являються в теорії суперсиметрії, що об’єднує всі чотири взаємодії — електромагнітну, слабку, сильну і гравітаційну. Згідно цієї теорії, бозони (частинки з цілим спіном) і ферміони (частинки з півцілим спіном) мають своїх супер-

партнерів. Наприклад, фотон має суперпартнера фотіно, глюон — глюіно, електрон — ес-електрон, нейтрино — ес-нейтрино і т. д. Маса таких частинок можуть бути в діапазоні 100 - 1000 Гев (10^{-22} - 10^{-21} г). Експерименти для їх виявлення в стадії постановки.

Діапазон мас кандидатів в приховану масу становить 75 порядків (!): від маси аксіона (10^{-5} еВ = $2 \cdot 10^{-38}$ г) до масивних чорних дір ($10^4 M_{\odot}$, $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$ - маса Сонця).

Важливим аргументом на користь небаріонної природи темної матерії є експериментальні дані про вміст легких елементів — гелію, дейтерію, літію. В рамках стандартної гарячої моделі Всесвіту вони накладають сильні обмеження на поширеність баріонів: $0.01 < \Omega_b < 0.1$ (Olive K.A., Steigman G., Schramm D.N., Walker T.P., Kang H., ApJ, 1991, 376, 51; Smith M.S., Kawano L.H., Malaney R.A., ApJ Suppl. Ser., 1993, 85, 219; Walker T.P. et al., ApJ, 1991, 376, 51). Нижня межа цього діапазону є ще значно вищою вмісту баріонів, який дають видимі зорі, газ і т. д. Отже, підстави для існування частини прихованої маси у формі баріонів є досить вагомими. Здається, ми є свідками її відкриття сьогодні.

Масивні компактні об’єкти гало

В останні роки незалежно кількома групами астрофізиків виявлені масивні компактні об’єкти гало (МАКОГ, англійська аббревіатура МАСНО, від Massive Compact Halo Object) на основі явища гравітаційного мікролінзування. Що це таке?

Генезис ідеї гравітаційної лінзи починається ще від Ньютона. Проте тільки із створенням загальної теорії відносності ця ідея отримала строге обґрунтування. Але навіть Ейнштейн, який в 1936 році розрахував ефект мікролінзування зорі далеким масивним об’єктом, що лежить на промені зору до неї (Einstein A., Science, 1936, 84, 506), не вірив у можливість його експериментального виявлення. Сьогодні цей ефект не тільки підтверджений експериментально, але є потужним засобом вив-

³ Пекулярною швидкістю галактики називають швидкість відносно Хабблівського потоку, тобто різницю між виміряною на основі ефекту Доплера і вирахованою по закону Хаббла: $V_p = V - H \cdot r$, де r - відстань до галактики.

⁴ Згідно сучасних космологічних моделей Всесвіт в дуже ранню епоху (10^{-35} - 10^{-10} секунд після “початкового акту Великого Вибуху”) пройшов через стадію експоненціального розширення або інфляцію, коли масштабний фактор $a \propto \exp(Ht)$; в сучасну епоху $a \propto t^{2/3}$.



чення компактних масивних об'єктів, які не реєструються ніякими іншими методами.

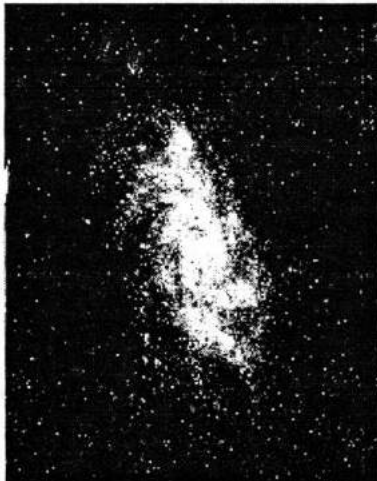


Рис. 1. Спіральна галактика M33 в сузір'ї Трикутника. Будовою і розмірами близька до нашої Галактики, яку ми бачимо із середини у вигляді Молочного Шляху

Пачинський у 1986 р. (Paczynski B., *Astrophys. J.*, 1986, 304, 1) запропонував застосувати цей ефект для вивчення МАКОГ, використовуючи зорі Магелланових Хмар або балджу нашої Галактики. На рис. 1 наведено фотографію спіральної галактики, яку видно зверху (перпендикулярно до її площини) і яка подібна до нашої Галактики. Схема будови спіральної галактики показана на рис. 2.

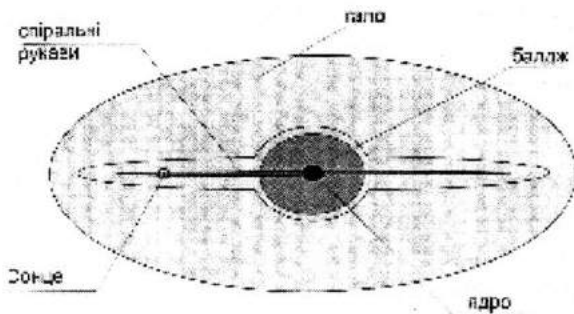


Рис. 2. Схематичний рисунок будови спіральної галактики (вид з ребра)

Суть методу, запропонованого Пачинським, ось у чому.

Якщо поблизу променя зору, спрямованого до зорі Великої Магелланової Хмари (~ 50 клк від Сонця), на відстані 10 клк від Сонця знаходиться компактний об'єкт зоряної маси ($M_0 \sim 1M_0$), то спостерігач може бачити так зване кільце Ейнштейна, радіус якого в площині лінзи $R_0 = 1.4 \cdot 10^9$ км. Кутові розміри його занадто малі (~0.007 сек), щоб його можна було побачити навіть в найпотужніший телескоп. Але яскравість джерела буде значно більшою, бо гравітаційна лінза працює як збірна лінза. Коефіцієнт підсилення (A) залежить від відстані гравітаційної лінзи до променя зору в картинній площині лінзи.

Таким чином, лінза, яка знаходиться на відстані R_0 від променя зору, збільшує яскравість зорі в 1.34 рази, що вже можна зареєструвати навіть для слабких зір Магелланових Хмар. Для лінз, які перебувають ближче до променя зору, ефект підсилення більший, і є випадки, де він сягає ~10 - 20. Але оскільки об'єкти гало Галактики рухаються, то ефект мікролінзування приведе до зміни блиску спостережуваної зорі.

Крива блиску при цьому матиме специфічні характеристики, які відрізняють її від власне змінних зір: симетрія в часі, ахроматичність, унікальність (неповторюваність) і однаковість блиску до і після події. Тривалість події залежить від тангенціальної (перпендикулярної до променя зору) швидкості МАКОГ. В стандартній моделі гало гравітаційна лінза з масою $10^{-3} M_0$ (маса Юпітера) зумовить спостережуване збільшення блиску, яке триватиме ~ 3 дні, а з масою $0.1M_0$ (коричневий карлик) — близько місяця. Критичним параметром є імовірність події. Для стандартної моделі гало ($M_{\text{гало}} \sim 5 \cdot 10^{11} M_0$) імовірність мікролінзування з фактором підсилення більшим, ніж 1.34, є $\sim 5 \cdot 10^{-7}$. Оскільки поперечні швидкості об'єктів гало невідомі (як і інші параметри), то оцінка очікуваних подій вимагає моделювання методом Монте-Карло⁵ при заданих різних розподілах цих параметрів. Результати показали, що в реальних



моделях гало для фіксації хоч однієї події необхідно здійснювати моніторинг десятка мільйонів зір в Магелланових Хмарах чи балджу нашої Галактики.

Спостережувальні програми

Пошуки МАКОГ ведуть 4 групи дослідників за відповідними програмами.

Перша програма EROS (Experience de Recherche d'Objects Sombres), яка фінансується Францією, почала діяти з 1990 р. на телескопі ESO в Ла-Сілла в Чілі. Здійснюється моніторинг 8 мільйонів зір Малої Магелланової Хмари в полі $5^\circ \times 5^\circ$ у двох фільтрах одночасно на пластинки на телескопі Шмідта і 10^5 зір в полі $1^\circ \times 0.4^\circ$ CCD камери 0.4 м телескопа.

Друга австралійсько-англійська програма MACHO діє з 1992 р. Розрахована на 8 років. Використовується 1.27м телескоп обсерваторії на Маунт Стромло (Австралія) для неперервного моніторингу зір балджу Галактики та Великої Магелланової Хмари. Спостереження ведуться в двох спектральних діапазонах одночасно з записом ділянки неба $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ на 2 мозаїчні CCD камери (2048 x 2048 пікселів кожна). За рік спостережень побудовано криві блиску для 9.5 мільйонів зір Великої Магелланової Хмари та балджу Галактики.

Третя польсько-англійська програма OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiments) почала діяти з 1992 р. на 1 м телескопі в Лас-Кампанас в Чілі. Ведеться моніторинг кількох мільйонів зір балджу Галактики за допомогою CCD камери з полем $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

Четверта програма DUO (Disk Unseen Objects, Франція) діє з 1993 р. на телескопі Шмідта ESO в Ла-Сілла в Чілі. Здійснюється моніторинг 15 мільйонів зір балджу Галактик.

⁵числовий метод розрахунку величини, залежної від багатьох випадкових параметрів. В ньому величині x , яку вираховують, ставиться у відповідність деяка випадкова величина ξ , математичне очікування якої рівне x . Величина ξ моделюється на ЕОМ і середня ξ по достатньо великому числу випробувань приймається за наближене значення x .

Результати спостережень

Експерименти ці незавершені, але попередні результати вже є і є дуже важливими для нашого розуміння будови Галактики.

Група EROS зафіксувала 3 події мікролінзування в напрямку на Велику Магелланову Хмару (Aubourg E. et al., Nature, 1993, 365, 623). Група MACHO-5 подій в напрямку Великої Магелланової Хмари (Alcock C. et al. Phys.Rev.Lett., 1995, 74, 2867), і біля 60 подій в напрямку балджу (Alcock C. et al., ApJ, 1995, 445, 133). Група OGLE повідомила про реєстрацію 15 таких подій в напрямку балджу (Udalski A. et al., ApJ, 1994, 426, L 69). Група DUO зареєструвала близько 10 мікролінзувань зір балджу (Alard C. 1994 р., усне повідомлення). Приклад реєстрації такої події показаний на рис. 3.

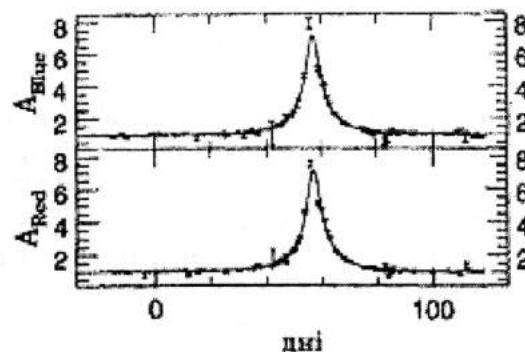
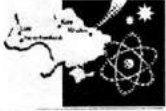


Рис. 3. Приклад кривої блиску зорі балджу Галактики в голубому і червоному фільтрах, отриманої в експерименті MACHO (по осі ординат — коефіцієнт підсилення A , по осі абсцис — час в днях). Максимальне підсилення тут 7.2, тривалість події 34.8 днів

Аналіз даних в сукупності з результатами моделювань методом Монте-Карло дає найвірогіднішу масу МАКОГ в діапазоні $0.01 - 0.1 M_\odot$. Об'єктами з такою масою є коричневі карлики. Повна маса таких об'єктів в Галактиці $8 \cdot 10^{10} M_\odot$, в той час як повна маса всіх зір і газу $6 \cdot 10^{10} M_\odot$. Проте ці об'єкти складають тільки 20 % усієї маси гало. Отже, основна частка маси Всесвіту ($\geq 90\%$) має небаріонну форму. Яку саме? Відповідь дадуть, очевидно, експерименти уже наступного століття.

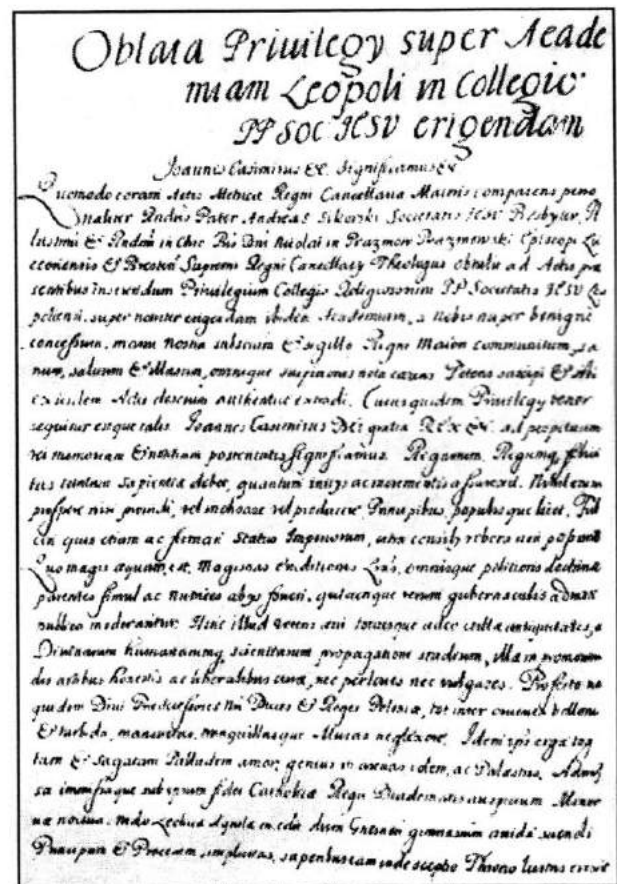


Кафедрам теоретичної і експериментальної фізики Львівського державного університету ім. Івана Франка — 125 років!

Історія фізики у Львівському університеті починається з 1661 р., коли король Речі Посполитої Ян Казимір 20 січня 1661 р. надав Львівській єзуїтській колегії, в якій, зокрема, навчався Богдан Хмельницький, “гідність академії і титул університету”. На той час фізики, як сформованого університетського курсу, та й взагалі, як окремої наукової дисципліни, ще не існувало. Сучасна історія науки пов’язує виникнення фізики як самостійної науки з іменами Г. Галілея, який в 1636 р. сформулював принцип фізичної рівноправності інерційних систем відліку, та І. Ньютона, в праці якого “Математичні начала натуральної філософії” (1687) були сформульовані основні закони класичної механіки. До 1773 р. фізика, як окремий предмет викладання в університеті, не згадувалася, а становила частину курсу філософії. При цьому йшлося про читання і коментування творів Арістотеля, а також про пояснення деяких фізичних явищ і властивостей речей: тепла, холоду, вологості, сухості, гнучкості і крихкості твердих тіл тощо, на основі елементів вогню, повітря, землі і води. Тому, що основною метою навчання тоді було надання вищої релігійної освіти, то у випадку надмірного захоплення лекторами суто фізичними питаннями, з’являлись заборони на читання фізики, що мало місце в 1706 і 1728 рр. Але розвиток природничих наук, зумовлений потребами технології, фортифікації, різноманітних вимірювань трамбував собі дорогу до закладів освіти. Дипломом короля Августа III від 24 березня 1759 р. фізика, як складова частина курсу філософії, була нарешті “узаконена”.

В 1773 р. після першого поділу Польщі Львів увійшов до складу Австро-Угорської імперії. Було ліквідовано орден єзуїтів, а разом з тим і керованих ним інституцій, в тому числі і Львівської академії (університету). Її частини стали підвалинами Йосифінського університету, утвореного в жовтні 1784 р., у складі якого було чотири факультети: філософський, богословський,

правовий та медицини. У 1787 р. для потреб українського населення Галичини було відкрито спеціальний інститут “Studium Ruthenum”, де готували майбутніх греко-католицьких священників. На філософському викладались як окремі предмети філософія, математика і фізика. Першим професором, що зайняв кафедру фізики у Львівському університеті був австрієць Франц Гюсман (1741-1806). Зауважимо, що сучасне поняття кафедри відрізняється від поняття XVIII-XIX століть. У той час кафедра асоціювалась з професором, який читав певний курс лекцій, був офіційно затверджений на



Диплом польського короля Яна Казимира про надання єзуїтській колегії “Титулу академії та гідності університету”



посаді професора і отримував відповідну платню.

Ф. Гюсман завідував кафедрою фізики від 1773 до 1787 р. До 1872 р. кафедрою фізики завідувало ще дев'ять професорів. Були це особи різні за походженням (чотири австрійці, два галичани, поляк, німець, закарпатець, угорець), за характерами, звичаями, уподобаннями, політичними орієнтаціями.

Імена їх усіх історія зберегла, а про окремих з них в архівах збереглося достатньо відомостей. Деякі завідували кафедрою всього по два роки, а найдовше — двадцять п'ять років (1824-1848) Август Кунцек з Сілезії. Останнім завідувачем кафедри фізики перед поділом її на теоретичну і

експериментальну був Алоїзій Гандль — з 1859 по 1872 рр. Професор Гандль друкував свої наукові роботи у виданнях Віденської Академії наук, в яких йшлося про будову рідин, кристалічну будову солей, поглинання світла, магнітне схилення у Львові та інші.

Поділ фізичної науки на два самостійні курси назривав протягом довшого часу і був пов'язаний із загальним поступом науки. В середині XIX століття фізика бурхливо розвивалась, формулювались сучасні уявлення з теорії теплоти (термодинаміка і молекулярно-кінетична теорія), нагромаджувались результати експериментів з електричних, магнітних і оптичних явищ тощо. У відповідності до прогресу науки все більш актуальною ставала її спеціалізація. В 1871/72 навчальному році фізику було розділено на математичну (теоретичну) і експериментальну. Першу почав викладати доцент Оскар Фабіан (1846-1899), другу — доцент Томаш Станецький (1826-1891).

Декретом Міністерства віровизнань і освіти від 14 вересня 1873 року Оскара Фабіана було затверджено на посаді професора кафедри теоретично фізики. Аналогічне затвердження отримав і Томаш Станецький (17 березня 1873 р.). Таким чином було завершено і остаточно закріплено поділ фізики на теоретичну і експериментальну, який розпочався в 1871 р.

Починаючи з 1857 р. фізичний кабінет знаходився в 4-х невеликих кімнатах по вул. Грушевського, 4. Восени 1895 року розпочалось будівництво окремого фізичного корпусу по вул. Кирила і Мефодія, 8. В 1897 р. будівництво було завершено. Фізичний відділ університету стримав 43 приміщення, на даху корпусу розмістилась метеорологічна площадка, в підвальному приміщенні — механічна майстерня.

Професор Ігнацій Закшевський обладнав фізичну лабораторію приладами для демонстрацій і практичних вправ з окремих розділів фізики. В цей час у Львівському університеті працювали такі відомі вчені, як Мар'ян Смолуховський, Констант Закшевський, Станіслав Лорія.

Крім педагогічної діяльності Станіслав Лорія увійшов в історію науки як дослідник у галузі вивчення дисперсії та поглинання світла в парах металів, флуорес-

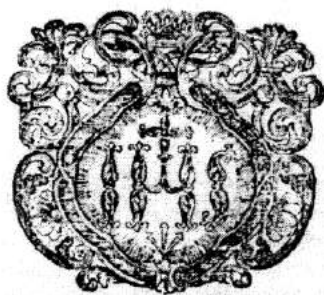
UNIVERSAE MATHESIOS PROPOSITIONES SELECTAE

Sub finem biennalis Curfus
Demonstratione publica

JLLUSTRATAE

In Aula Universitatis Leopoltanae
Societatis JESU

Anno INCARNATAE SAPIENTIAE MDCCLXV.



Superiorum permissu.

Repro. Karta tytułowa z programu nauk r. 1765 Akademii lwowskiej T. I.
Ze zbiorów Archiwum TEU.

Титульна сторінка з навчальної програми Львівського університету (тоді єзуїтської академії (1661-1773)) від 1765 р.



ценції, радіоактивності та дифракції електронів. Він переобладнав і перебудував фізичні лабораторії та створив Інститут фізики зі штатом 10 чоловік. В цьому інституті працювали складувна, столярна та механічні майстерні, окреме приміщення зі спеціальним ізольованим фундаментом для проведення інтерференційних досліджень з використанням інтерферометра Жамена. В фізичному інституті була машина Лінде для зрідження повітря, канали для введення у приміщення колімованого сонячного пучка і автоматичним стеженням за рухом Сонця, вентиляція приміщень забезпечувалась газовими пальниками у вентиляційних каналах. Було створене велике акумуляторне господарство із відповідною електромережею по корпусу з дискретним поданням постійної напруги в межах до 120 В в кожне приміщення корпусу.

Перший завідувач кафедри теоретичної фізики в історії Львівського університету Оскар Фабіан був обдарованим і працездатним вченим. Найбільш вагомими для світової науки були праці “Про заломлення світла і довжину хвиль”, “Про поняття гравітації”, “Про променистий стан матерії”.

Після смерті О. Фабіана в 1899 р. кафедру теоретичної фізики очолив Мар'ян Смолуховський (1872 - (1914-1918?)) — один з найбільш відомих у світі вчених-фізиків, який вписав своє ім'я в науку як один з творців сучасної молекулярно-кінетичної теорії. З часу перебування у Львівському університеті професора Смолуховського до нас дійшли біля 35 наукових робіт — з кінетичної теорії, де він далі розвинув ідею Больцмана, з теорії броунівського руху, які з'являються одночасно з роботами А. Ейнштейна, з теорії флуктуацій, що сприяли цілковитому завершенню молекулярної теорії і стали основою для зв'язку статистичної фізики з термодинамікою. Як часто буває, коло наукових інтересів видатних вчених не обмежується певним вузьким напрямом досліджень. Це в повній мірі стосується і М. Смолуховського. Відомі його наукові праці про процеси гороутворення, з аеродинаміки, з теорії планетних атмосфер. І коли ми сьогодні говоримо про теорію броунівського руху Смолуховського, то по праву гордимось, що вона була створена саме в стінах Львівського університету!

Напередодні I Світової війни в 1913 р. М. Смолуховський переїхав у Краків, і сліди його губляться у вирі воєнних років. В цих роках (1913-1918) кафедрою керував професор Констант Закшевський, відомий своїми дослідженнями з електронної теорії металів, оптичних властивостей рідин. I Світова війна декількома хвилями прокотилась через місто Львів. Воєнні дії вводили перерви в учбовий процес, шкодили науковій роботі. Багато талановитих науковців та обдарованих студентів відійшли від науки і перейшли у інші сфери, декотрі загинули під час війни чи були інтерновані. В результаті розпаду Австро-Угорської монархії була відновлена державність Речі Посполитої. Польська влада активно проводила колонізацію Львівського університету. На 1919 р. більшість професорів університету склали поляки. Професори австрійської національності переїхали на батьківщину, частково залишаючись у Львові. Українці, натомість, були поступово усунені від викладацької роботи (більшість з них не хотіла давати присягу на вірність польській державі).



Мар'ян Смолуховський (1872-1917)



Львівський університет у 1919 р. отримав назву "Університет Яна Казимира у Львові". Проте ці зміни не мали рішучого впливу на розвиток природничих наук і фізики зокрема. Надалі існували дві кафедри: теоретичної і експериментальної фізики з відповідними інститутами, діяла астрономічна обсерваторія. В 1924 р. відбувся поділ філософського факультету на гуманітарний і математично-природничий, який однак, мав лише адміністративні наслідки, спростив структуру факультету, який розрісся до великих розмірів.

У міжвоєнний період (1919-1939) кафедрою теоретичної фізики завідували професори Станіслав Лорія (1883-?) — з 1919 по 1930 рр., Степан Щеньовський (1898-?) — з 1930 по 1936 рр. і Войцех Рубінович (1889-?) — з 1936 по 1939 рр., причому останній продовжував завідувати кафедрою і в 1939-1941 рр. і в 1944-1946 рр. до свого переїзду в Польську Народну Республіку. Всі вони були відомими фізиками, плідно працювали в різноманітних областях фізики, мали

широкі наукові зв'язки, часто виїжджали у відомі фізичні заклади та лабораторії, де читали лекції і працювали пліч-о-пліч з такими відомими вченими як Н. Бор, В. Гайзенберг, А. Зоммерфельд та іншими. Серед працівників кафедри теоретичної фізики цього періоду особливої уваги заслуговує Леопольд Інфельд (1898 - ?), якого професор С. Лорія взяв до себе як асистента в 1929 р. Л. Інфельд читав лекції з теоретичної фізики до 1938 р. з перервами, що були пов'язані з неодноразовими виїздами в такі наукові центри як Кембріджський, Принстонський та інші університети. Зокрема, в Принстоні в 1936-1938 рр. Л. Інфельд безпосередньо співпрацював з А. Ейнштейном.

В 1940-1941 рр. на кафедрі працював відомий український вчений Зенон Храпливий (1904-1983) родом з Тернопільщини. Навчаючись послідовно у Віденському, Краківському та Львівському університетах здобуває ґрунтовну фізико-математичну освіту і в 1932 р. отримує ступінь доктора філософії на основі досліджень динаміки електронів в електричних полях. Але, як українець, до праці в університеті не був допущений. І тільки в 1940 р. стає професором кафедри теоретичної фізики. В 1944 р. емігрував в США, де досяг значних наукових результатів, зокрема, в квантовій електродинаміці.

Під час війни на три роки зупинилось життя Львівського університету. Військові дії і трілітня окупація зруйнували і спустошили університет: лабораторії і кабінети були пограбовані і знищені, з наукової бібліотеки було вивезено більше 20 тис. цінних видань, серед яких було 4 тис. стародруківаних книг і інкунабул, 50 цінних рукописів. А скільки цінних рукописів було знищено в роки більшовицького режиму!

Після воєнної перерви було відновлено роботу Львівського університету, і 15 жовтня 1944 р. розпочалось навчання, в тому числі і на фізико-математичному факультеті. Після Войцеха Рубіновича кафедру теоретичної фізики в 1946 р. очолив Василь Міліянчук (1905-1958) — один з найвидатніших українських фізиків повоєнної доби. Народився В. Міліянчук на Коломийщині Івано-Франківської області. Вищу освіту



Будинок бібліотеки Львівського університету по вул. Драгоманова, 5 (початок ХХ ст.)



здобув, навчаючись у Львівському університеті, потім політехніці, яку закінчив в 1933 році з присвоєнням йому ступеня магістра з фізики. Свою діяльність в університеті розпочав цього ж року. Поєднання природної обдарованості та працелюбності з високим науковим рівнем навчання дозволило В. Міліянчукові вже в студентські роки не тільки оволодіти найновішим здобутком теоретичної фізики — релятивістською квантовою механікою Дірака, але і покласти її в основу власних оригінальних досліджень. В 1935-1936 рр. В. Міліянчук перебуває на стажуванні в університеті міста Лейпцига, де безпосередньо спілкується з В. Гайзенбергом. Його, тоді ще молодого вченого, наукові праці друкувались в найпрестижніших фізичних журналах світу. Завідував кафедрою професор В. Міліянчук до своєї раптової смерті в 1958 р. Він належав до найвидатніших фізиків тодішнього Радянського Союзу в галузі теорії атомних спектрів. Його співпраця з такими авторитетними вченими як Г. Ландсберг та іншими дала змогу багатьом випускникам 50-х років навчатись в аспірантурі або стажуватись в найпередовіших фізичних осередках країни. Серед учнів В. Міліянчука є академік АН СРСР Є. Фрадкін, доктори наук А. Свідзінський, Р. Гайда, І. Тальянський, кандидати наук М. Сеньків, П. Тацуняк та інші.

За завданням В. С. Міліянчука під керівництвом Л. К. Клімовської в лабораторіях кафедри експериментальної фізики вивчаються спектри поглинання природних кристалів з фондів мінералогічного музею університету та спектри органічних сполук, синтезованих на хімічному факультеті. Активно досліджуються оптико-спектральні параметри кристалів рубіну та органічних сполук типу антрацену та нафтацену (В. Н. Вишневський), розпочато вирощування кристалів з розплаву (Б.О. Білякович) та з розчину (Ф. М. Алемайкін).

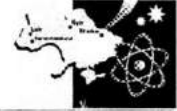
У 1945 р. з кафедри експериментальної фізики виділяється кафедра загальної фізики (зав. каф. С. П. Литвиненко), на яку переходять усі практикуми з курсу загальної фізики, в 1958 р. — виділяється кафедра фізики твердого тіла, а з неї у 1963 р. кафедра рентгенометалофізики (зав. каф. Я. І. Дутчак). У 1964 р. кафедра фізики

твердого тіла ділиться на кафедру твердого тіла та на кафедру фізики напівпровідників (зав. каф. М. В. Пашковський). Накінець, у 1979 р. з кафедри експериментальної фізики виділяється кафедра нелінійної оптики (зав. каф. О. Г. Влох).

В 50-х роках на кафедрі теоретичної фізики працювали не менш відомі професори А. Глауберман, С. Каплан, а в 1954 р. розпочав свою діяльність сьогодні академік НАН України Ігор Юхновський. Він і очолює кафедру в 1958 р., якою завідував до 1970 р. Далі і до сьогоднішнього дня академік І. Юхновський працює в НАН України, очолює створений ним в 1990 р. Інститут фізики конденсованих систем. Найголовніші досягнення І. Юхновського стосуються статистичної термодинаміки систем взаємодіючих частинок, зокрема, теорії фазових переходів.

З 1971 р. кафедрою завідували Михайло Сеньків (1923-1993) — до 1973 р., далі Роман Гайда — до 1978 р., Лаврін Блажиевський — до 1984 р. З 1984 р. і до сьогоднішнього дня кафедру очолює професор Іван Вакарчук. Кафедра працює над проблемами, присвяченими загальним методам класичної та квантової статистичної механіки, теорії квантових рідин, невпорядкованих систем, магнетизму в аморфних і рідких тілах, фазових переходів, теорії спектральних ліній в зоряних атмосферах та інші. Сьогодні професор І. Вакарчук є ректором Львівського державного університету імені Івана Франка. Під його керівництвом зростає когорта молодих обдарованих фізиків-теоретиків, що гарантує збереження наукових традицій кафедри, продовження їх на новому рівні і дозволяє з оптимізмом дивитися в майбутнє однієї з найстаріших кафедр Львівського університету.

Кафедру експериментальної фізики очолювали Томаш Станецький (1872-1891), Ігнацій Тжаска Закшевський (1892-1920), Роман Негруш (1920-1926), Станіслав Лорія (1927-1941), Володимир Антонович Кучер (1944-1947), Дмитро Дмитрович Лазебник (1947-1948), Олександр Іванович Андрієвський (1948-1949), Никандр Владиславович Понирко (1949-1953), Любов Константинівна Клімовська (1953-1962), Василь Никанорович Вишневський (1962-1976), Микола Олексійович Романюк (1977-1996), Ігор Васильович Стефанський — з 1996 р.



З 1962 р. кафедри експериментальної фізики, яка досі забезпечувала підготовку у таких напрямках як фізична оптика і спектроскопія кристалів, фізика напівпровідників, рентгенометалофізика, електрофізика та астрофізика, зосереджується лише на оптико-спектральному профілі. У 1964 р. на факультеті відкривається нова спеціальність “Оптичні прилади та спектроскопія”, єдину на той час спеціалізацію, з якої “ОКГ і нелінійна оптика” забезпечує кафедра експериментальної фізики.

У 1988 р. на ВО “Полярон” відкрито філіал кафедри (зав. Я. М. Бондарчук) і сьогодні ми маємо стійку співпрацю цих колективів та пошуки нових методів роботи та підготовки спеціалістів по спеціалізаціях “Лазери та лазерна техніка” та “Оптико-фізичні методи і техніка в біології і медицині”.

Результати наукових досліджень працівників кафедри експериментальної фізики з 1962 по 1992 рр. опубліковані в оглядових статтях Довгого Я. О., Крочука А. С., Романюка М. О., Підзирайла М. С., Стефанського І. В., Андрієвського Б. В., надрукованих у віснику Львівського університету, серія фізична, вип. 25, 1992 р., присвяченому 120-річчю кафедрам теоретичної та експериментальної фізики.

У 70-х роках на кафедрі доц. О. Г. Влохом широко розгорнуті дослідження з нелінійної та параметричної кристалооптики, які привели до відкриття явища електрогірації. Наукове відкриття, яке отримало реєстраційний N 211, було першим здійсненим на теренах Західної України (автори О. Г. Влох та проф. Жолудев І. С. з Інституту Кристалографії АН СРСР).

В цей час на кафедрі широко проводились дослідження енергетичних та світлоінфорамційних параметрів катодолюмінесцентних екранів електронно-оптичних трубок високого розділення, велись роботи в напрямі створення магнітометричної апаратури.

В останні роки в лабораторії люмінесценції освоєні методи спектроскопії з субнаосекундним часовим розділенням з використанням імпульсних рентгенівських та оптичних джерел, що дозволило розпочати вивчення принципово нових фізичних явищ. Зокрема, вперше почались інтенсивні дослі-

дження нового типу власної люмінесценції кристалів, зумовленої рекомбінацією основних дірок та валентних електронів — остовно-валентної люмінесценції. Отримане розуміння природи остовно-валентної люмінесценції дозволило використати вивчення цього випромінювання як принципово новий метод дослідження енергетичної структури кристалів та визначити параметри енергетичних зон кристалів, густини станів, ширини заборонених зон з високим енергетичним розділенням, недоступним для традиційних методів, що використовуються для даного спектрального діапазону.

Дослідження подібних процесів є на сьогодні актуальними і тому проводяться в рамках міжнародного співробітництва з використанням ВУФ-випромінювання синхротронних прискорювачів у лабораторіях Дарсбері (Англія) та HASYLAB (Німеччина).

22 грудня 1997 р. на фізичному факультеті Львівського держуніверситету ім. Івана Франка урочисто відзначалося 125-річчя кафедр теоретичної і експериментальної фізики. Саме в 1872 р. єдина на той час кафедра фізики була розділена на дві — теоретичну і експериментальну. Цій події було присвячено науковий семінар, на якому виступили провідні вчені-фізики.

Таким чином, можна стверджувати, що 125 років від дня заснування кафедри теоретичної і експериментальної фізики Львівського університету ім. Івана Франка зустріли на етапі творчого злету і пошуку нових форм організації наукової і педагогічної діяльності.

Олександр Попель,
канд. фіз.-мат. наук,
Р. Лаврицький,
Ігор Стефанський,
канд. фіз.-мат. наук

В статті використані фотографії з архівів Музею історії Львівського університету ім. Івана Франка



ЖИТТЯ ДЛЯ НАУКИ Й УКРАЇНИ...

Пам'яті Романа Ґайди

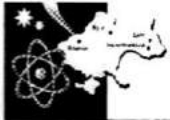
Шановний читачу! В цій статті ми хочемо розповісти Тобі про видатного українського фізика-теоретика, дійсного члена Наукового Товариства ім. Шевченка, доктора фізико-математичних наук, професора Романа Ґайду, відомого далеко за межами України своїми піонерськими дослідженнями з релятивістської механіки, а також глибоким вивченням філософських і світоглядних проблем фізики, історії української фізики... Він був ініціатором заснування нашого журналу, активним учасником його становлення, до останнього подиху вкладав у нього свою працю, інтелект та частку душі. Це число журналу ми готували ще з його участю ...

Народився Роман Пантелеймонович Ґайда 9 жовтня 1928 р. в селі Підмихайля біля Калуша у родині вчителів. Здобувати середню освіту йому довелося в бурхливі й трагічні роки другої світової війни. Він навчався у приватній українській школі ім. М. Шашкевича (1938-39) та в Українській гімназії (1941-43) у Станіславові (тепер м. Івано-Франківськ), а закінчував середню школу в Калуші. Про шкільні роки Романа Пантелеймоновича його брат Святослав згадує так: *“Він самотійно навчився читати та писати ще в дошкільному віці, тільки зрідка звертаючись до старших за поясненнями. Вчителька початкових класів сільської школи села Підмихайля вважала, що Роман знає більше, ніж вимагає програма, і брат, таким чином, за один рік навчання закінчив два класи. Брат цікавився політичними, культурними і спортивними подіями тих часів, багато читав. У старших класах гімназії, а потім у студентські часи брат давав уроки з математики і фізики слабшим учням, готував їх до екзаменів, заробляючи собі у такий спосіб гроші на життя (ми залишилися без батька з часів війни, а мамі самій було важко нас тоді утримувати)”*.



У 1946 р. Р. Ґайда розпочав навчання на фізико-математичному факультеті Львівського університету. Отримавши диплом з відзнакою, він вступив до аспірантури на кафедрі теоретичної фізики. Керівником його дипломної та дисертаційної робіт був професор Василь Міліянчук (1905-1958), український фізик-теоретик, відомий своїми працями з квантової теорії атомних спектрів, який справив значний вплив на формування Львівської школи теоретичної фізики.

Захистивши в 1954 р. кандидатську дисертацію, присвячену проблемам квантової електродинаміки, Р. Ґайда працював у Львівському університеті спершу доцентом (1955-1973), а потім завідувачем кафедри теоретичної фізики. Його лекції вирізнялися чіткістю і прозорістю викладу, глибоким проникненням у фізичну суть явищ, логікою і послідовністю переходів від однієї теми до іншої. Педагогічну майстерність Р. Ґайди віддзеркалюють два написаних ним підручники. Його *“Атомна фізика”* (1965) використовувалась у викладанні цього курсу далеко за межами України. Стислий конспект лекцій Ґайди для студентів-математиків *“Вступ до теоретичної фізики”* (1970) містить багато цікавих ідей щодо фізичних та математичних основ класичної механіки, які згодом відобразились і в його дослідницьких студіях. Пригадує його учень, канд.-фіз.-



мат. наук, сьогодні народний депутат України Юрій Ключковський: "в осінньому семестрі 1969 року мені вперше випала нагода слухати лекції Романа Пантелеймоновича з курсу атомної фізики. Його стиль, який дозволяв освоїти досить непростий для студентів курс (фактично це було перше знайомство з елементами квантової теорії), його рівний, з повагою, а часто з легким гумором, голос, який знімав напругу в аудиторії, викликали захоплення студентів". "Підручник "Атомна фізика" Р. Гайди, — продовжує далі Ю. Ключковський, — написаний з великою педагогічною майстерністю, користувався загальною популярністю. По суті це унікальний випадок, коли підручник з загальної фізики (а саме до цього курсу належить атомна фізика), написаний фізиком-теоретиком, не переобтяжений надмірними теоретичними деталями і добре поєднує світоглядну цілість з експериментальним фактажом. Очевидно, тут проявилася належність Р. Гайди до школи проф. В. Міліянчука. Вже пізніше ми довідалися, що цей підручник якимось чудом потрапив за океан: його використовували для читання лекцій у далекій Америці

відомий фізик-теоретик, українець за походженням і станом душі, професор Олекса Біланюк. Згодом, через багато років, коли проф. О. Біланюк відвідав Україну, він з великою повагою відзивався про цей підручник та його автора." За цим єдиним на той час підручником з атомної фізики, написаним українською мовою, навчалися також студенти інших вузів України. Як згадує проф. Ярослав Довгий, цю книгу дуже високо оцінювали професори Михайло Білий та Іван Кондиленко з Київського університету.

У 1973-74 рр. Р. П. Гайда перебував 6 місяців як стипендіат ЮНЕСКО у Ягеллонському університеті (Краків), де співпрацював з відомим польським фізиком-теоретиком Анджеєм Старушкевичем. Вислідом цього відрядження стала опублікована в журналі "Acta Physica Polonica" праця, яка містила основи лагранжевого формування релятивістичної динаміки системи частинок — напрямку, розвитку якого вчений присвятив решту свого життя.

У 1978 р. Р. Гайда приймає пропозицію директора щойно створеного Інституту прикладних проблем механіки і математики АН України акад. Ярослава Підстрґача і



Роман Гайда з родиною (Липень, 1980 р.)



переходить на посаду старшого наукового співробітника цього інституту. Тут він розгортає широкомасштабні дослідження релятивістичної теорії прямих міжчастинкових взаємодій, організовуючи дослідницьку групу з питань релятивістичної механіки.

Згодом Р. Гайда захистив докторську дисертацію на тему: “Релятивістична класична теорія прямих взаємодій частинок у тривимірному формулюванні” і через рік перейшов на посаду завідувача кафедри Львівського зооветеринарного інституту, де працював до 1991 р.

У 1991 р. професор Гайда перейшов на роботу в Інститут фізики конденсованих систем АН України, де завідував відділом теорії релятивістичних систем. У цьому інституті він працював до останніх днів свого життя.

Наукові інтереси Романа Гайди формувалися у школі професора Міліянчука і спершу зосереджувалися на фундаментальних питаннях квантової механіки та квантової теорії поля. У 50-их роках він займався дослідженнями квантово-механічної теорії розсіювання у застосуванні до опису міжмолекулярних взаємодій, потім перейшов до розгляду зіткнень між частинками з точки зору квантової теорії поля. У 60-ті роки дослідник розвивав скалярну квантову електродинаміку та вивчав взаємодію між скалярними частинками і електронами.

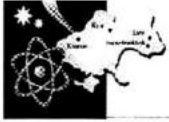
Відомі концептуальні проблеми квантової теорії поля спонукали на той час багатьох теоретиків до пошуків альтернативних шляхів опису явищ у фізиці високих енергій. Роман Гайда спрямував свої зусилля на дослідження феноменологічного опису релятивістичних систем взаємодіючих частинок, який би базувався на загальних принципах релятивістичної інваріантності та причинності. “Він запропонував, — підкреслив учень професора Р. Гайди докт. фіз.-мат. наук Володимир Третяк, — оригінальний підхід до побудови такої теорії, що виходить з класичного лагранжевого формалізму та дозволяє єдиним самоузгодженим чином описати широкий клас явищ та процесів у релятивістичній ди-

наміці. Глибоке проникнення у фізичну суть проблеми, застосування адекватного математичного апарату, ретельне вивчення літератури предмету дало змогу професорові Гайді разом з учнями і співробітниками розвинути пункаре-інваріантну класичну лагранжеву механіку з вищими похідними у послідовну теорію, яка дозволяє уніфікувати різні формалізми релятивістичного опису прямих взаємодій: інтеграли дії типу Фоккера, ньютоніву і гамільтонову механіку.”

Роботи Р. Гайди та учнів були високо оцінені дослідниками, що займалися цими проблемами в Україні, Росії, США, Франції, Італії, Іспанії, Польщі.

“Особливо хочу відзначити неповторний стиль наукового керівника Р. Гайди. У нашій науковій групі була створена унікальна атмосфера творчого пошуку, вільного обміну думками, рівної наукової дискусії. Завдяки глибокій інтелігентності, справжній культурі Роман Пантелеймонович був для нас, молодих студентів та аспірантів, старшим товаришем, знання і досвід якого не використовувався для тиску на учнів. У той час вчений щедро ділився з учнями своїми науковими контактами, завжди заохочував учнів до участі у різних конференціях і семінарах. Для мене Роман Гайда назавжди залишиться еталоном Учителя, наставника і виховника, який усі свої сили віддавав учням” (Юрій Ключковський).

Роман Гайда ніколи не замикався у “вежі зі слонової кістки” чистої науки. Він належав до тих, завдяки кому в роки більшовицького тоталітаризму фізичний факультет Львівського державного університету ім. І. Франка залишався українським навчальним закладом, де безроздільно панувала українська мова. Глибока порядність, високі моральні чесноти Р. Гайди постійно проявлялися в його житті. Він не сприймав нечесності і непорядності. Завжди відчував себе українським науковцем. Від самого початку послаблення комуністичного режиму професор Гайда поринув в активну науково-організаторську та політичну діяльність, спрямовану на відродження та утвердження української державності, на



повнокровний та всебічний розвій усіх ланок національної науки, культури, освіти. Він став активістом новоствореного Товариства української мови, з виникненням Руху вчений активно включився у політичну діяльність, у 1990 р. став депутатом Львівської міської Ради першого демократичного скликання. Про громадський авторитет професора Р. Гайди свідчить те, що він був у числі 4 депутатів міськради, яким у квітні 1990 р. була доручена почесна місія — вперше після 1918 року підняти на Львівській ратуші український національний прапор.

Роман Гайда належав до активних учасників відновлення діяльності Наукового Товариства ім. Шевченка у Львові, очолював фізичну комісію НТШ та редагував "Фізичний збірник". Він був обраний дійсним членом НТШ, а в 1992 р. відзначений медаллю імені Михайла Грушевського.

Професор Р. Гайда був членом Українського фізичного товариства, Американського математичного товариства, входив до складу редакційних колегій "Українського фізичного журналу", "Condensed Matter Physics", "Світ фізики".

Велике значення надавав Роман Пантелеймонович молодому поколінню в прищепленні їм любові і відповідальності до науки. Він зустрічався з молодими, здібними школярами та студентами, проводив бесіди, читав лекції, розкриваючи красу фізичної науки. Це постійно проявлялося і у великій відповідальній роботі в нашому журналі.

Вчений прикладав багато зусиль не тільки в популяризації фізики як науки в Україні, але й для розширення наукових контактів за її межами. Вів активно переписку із вченими різних країн, доносячи до них досягнення українських вчених та залучаючи їх до співпраці.

Сфера наукових інтересів професора Гайди включала також питання історії та методології фізики.

В останні роки він проводив ґрунтовне дослідження життя та наукової діяльності Івана Пулюя (1845-1918), що привело до десятків публікацій у різноманітних виданнях — від щоденних газет до наукових

часописів (а першою була його стаття про цього визначного українського вченого і патріота у "Віснику Львівського університету" за 1969 р.). Вислідом цих студій стала фундаментальна монографія Р. Гайди і Р. Пляцка "Іван Пулюй", яка у 1997 р. була подана до друку у видавництво НТШ. Як пише співавтор книги Роман Пляцко, "Особистість Івана Пулюя, його ідеї, устремління, справили на Романа Гайду надзвичайно сильне враження. З кожним архівним документом чи літературним джерелом наростало усвідомлення титанічної масштабності цієї постаті. Роман Пантелеймонович, як людина на рідкість сумлінна і відповідальна ставив за мету максимально повно й об'єктивно донести це враження до широкого загалу. ... Усе це на тлі вражаючих змін у суспільному житті України: "Ми вільні! Заради цього варто не щадити себе у праці, бо це так багато потрібно зробити!" І Роман Пантелеймонович робив усе, що міг, до останнього подиху".

Він доклав величезних зусиль, щоб відзначення 150-річчя з дня народження Івана Пулюя відбулося на рівні, гідному як цієї великої людини, так і молодій Українській державі. Професор Р. Гайда поринув в організаційну роботу, пов'язану з проведенням Міжнародної наукової конференції, присвяченої 150-річчю від дня народження Івана Пулюя (Львів, 23-26 травня 1995 р.; Тернопіль, 24-27 травня 1995 р.), працював в редакційній колегії "Збірника праць" І. Пулюя (К.: Рада, 1996), виступав перед науковою громадськістю, студентами, учнями. Закономірно, що на загально-національному урочистому вечорі з нагоди 150-річчя від дня народження вченого, який відбувся 3 лютого 1995 р. в київському Будинку вчителя, саме Р. Гайді випало виголосити слово про Івана Пулюя "Життя для науки й України". А поряд з цим тривала напружена дослідницька праця, пошуки в бібліотеках і архівах Львова, Києва, Праги, Відня, в архіві родини Пулюїв (Австрія).

Розуміючи великий внесок Івана Пулюя у світову науку та прагнучи донести до



світової громадськості велич цієї постаті, Роман Ґайда почав працювати над книгою “Іван Пулюй — загадка універсального таланту” німецькою мовою. Ця книжка, її назва, кожен її розділ народжувалися, коли професор був вже важко хворий. Пройнятий духом великої відповідальності за свою працю, він вперто, незважаючи на хворобу, працював вдень і вночі, чи вдома, чи на лікарняному ліжку. Не висловлені думки..., не дописані рядки... Коли професор працював над редагуванням книги, або обговорював додаткові коментарі для німецькомовного читача, не було ані важкої хвороби, ані лікарні, ... була лише відповідальна, натхненна праця...

Але за свого життя Романові Ґайді не довелося побачити надруковані книги. Не встиг... Побачив лише один з ключових роз-

Важка недуга захопила Романа Ґайду зненацька, 22 жовтня 1997 р. у розпалі творчої активності. Важкий інсульт призвів до паралічу лівої частини тіла, але він продовжував працювати. Вчений завершив переклад з німецької низки розділів підручника з класичної механіки Н. Іго, підготував до друку кілька статей, постійно працював над німецьким варіантом книги про Пулюя, а також над рукописами нашого журналу...

24 червня 1998 р. життєва дорога Романа Ґайди завершилась. У некролозі, опублікованому в газеті “За вільну Україну” від 27 червня 1998 р. написано: “Обірвалося життя визначного представника інтелектуального світу України, чия діяльність як педагога і науковця та високі моральні засади були взірцем для всіх, хто мав щастя



Р. Ґайда з онуком, невістка Ірина, проф. О. Біланюк, проф. Я. Довгий, ст.наук.сп. Р. Пляцко (1993 р.)

ділів книги, виданий як препринт Інституту фізики конденсованих систем НАН України, у якому на багатому архівному матеріалі автор дав глибокий аналіз одного з найскладніших і найбільш контроверсійних питань в галузі пулюєзнавства — про роль Івана Пулюя у відкритті та дослідженні Х-променів. Знав він і про захоплені відгуки на цю працю, зокрема професорів О. Біланюка (Свартмор, США) та М. Даценка (Київ).

спілкуватися з цією винятковою людиною”. Науковий доробок Р. Ґайди ще стане, звичайно, предметом фахового вивчення. Але жодні слова не зможуть передати усього неповторного чару його особистості, невимушеної люб’язності, тактовності, вродженої інтелігентності і ще чогось невловимого, що робило спілкування з ним таким цікавим і приємним. Україна втратила великого трудівника науки.

Галина Шопя



Джон Бардін

(До 90-річчя від дня народження
двічі лауреата Нобелівської премії)¹

*Він більше, ніж будь-хто інший,
може вважатися "батьком"
сучасної електроніки.*

Проф. Микола Голоняк,
учень і друг Джона Бардіна

...Відкриття ізотопного ефекту у надпровідності (1950 р.)^{*} навело американського фізика Джона Бардіна (1908-1991) на думку, що у надпровідності суттєву роль відіграє взаємодія між рухомими електронами та коливаннями кристалічної ґратки (фононами)^{**}.

Отже, Джон Бардін і електрон-фононна взаємодія. Домінантна ідея до розгадки таїни надпровідності! Як це часто буває, на дорозі до великої мети, навіть побічні результати мають неабияку вартість. Так, напр., при урахуванні електрон-фононної взаємодії вдалося пояснити явище т.зв. непрямих зона-зонних переходів у напівпровідниках, що є також заслуга Дж. Бардіна (1954 р.).

Дозволю собі коротко розповісти про цього славного фізика, доповідь якого я, тодішній аспірант, мав приємність слухати на науковому семінарі в Інституті фізики в Києві.

Джон Бардін народився 23 травня 1908 р. в м. Медісоні (штат Вісконсин), де його батько д-р Чарльз Р. Бардін був професором анатомії і деканом медичної школи при Вісконсинському університеті. Його мати Елсі Бардін була декоратором інтер'єрів і померла, коли Джон був ще малим (1920 р.). Батько одружився вдруге. Сім'я була велика: у Джона було два брати, сестра та звідна сестра.



*Джон БАРДІН в своєму офісі у фізичному корпусі Іллінойського університету.
Листопад 1973 р.*

Початкову освіту Джон здобував у Медісоні. Був надзвичайно здібним учнем, так що на дев'ятому році життя він з третього класу перейшов відразу до сьомого. Захоплювався спортом, особливо гольфом та плаванням. Після закінчення середньої школи (1923 р.) поступив до Вісконсинського університету і в 1928 р. здобув ступінь бакалавра з електротехніки. Наступного року здобув ступінь магістра електротехніки. Докторську дисертацію виконував з квантової фізики металів у Принстонському університеті під керівництвом проф. Євгена Вігнера. Після захисту дисертації (1936 р.) два роки працював у Гарвардському університеті, де розробляв теорію електропровідності металів.

У 1938 р. одружився з Джейн Максвелл, з якою дружньо прожив усе життя. Мали двох синів та дочку. Старший син Джеймс (1939 р. н.) — відомий фізик, професор Каліфорнійського технологічного інституту.

Після Гарварда Джон Бардін у 1938 - 1941 рр. був на посаді ад'юнкт-професора Міннесотського університету, де продовжував дослідження поведінки електронів у металах. Під час війни (1941-1945) працював цивільним дослідником військово-мор-

¹ Із книги проф. Ярослава Довгого "Чарівне явище надпровідності".

^{*} Суть ізотопного ефекту полягає у зміні температури переходу у надпровідний стан в залежності від маси ізотопу металу.

^{**} Фонон — квант поля пружних коливань кристалічної ґратки (за аналогією з квантом електромагнітного поля - фотоном).



ської артилерійської лабораторії у Вашингтоні, вивчаючи магнітні поля кораблів.

Після закінчення війни, у зв'язку з необхідністю збільшення заробітку для зростаючої сім'ї, Бардін у 1945 р. переходить до щойно сформованої перспективної групи "Bell Telephone Laboratories" потужної телефонної компанії "Белл". Працював у науковій лабораторії з фізики твердого тіла разом з Вільямом Шоклі (1910-1989) та Волтером Браттейном (1902-1987). У 1947 р. на основі ідеї Бардіна про можливість інжекції неосновних носіїв в напівпровідниках вони зробили надзвичайно важливе для науки і техніки відкриття транзисторного ефекту у напівпровідниках. Далеке епохальне відкриття спричинило революцію в електронній техніці. Це був рубіж, магічний момент, коли електровакуумна електроніка почала різко витіснятися напівпровідниковою електронікою. Неважко зрозуміти, що це означало для електронної техніки з огляду енергоспоживання, габаритів, надійності, довговічності і т. п. Саме з цього часу напівпровідники набули великого значення і популярності.

Нині кожна грамотна людина (не тільки фізик!), котра у своєму побуті користується сучасним телевізором, комп'ютером, відеомагнітофоном і т. п., повинна знати, що ці шедеври техніки стали можливими завдяки здобуткам твердотільної електроніки, започаткованої ідеєю Джона Бардіна про інжекцію неосновних носіїв, а також здобутками фізики тунельних явищ. Напівпровідникові транзистори, інтегральні схеми, електронні перемикачі, світлодіоди, інжекційні лазери — всі ці пристрої мають в основі відкриття Бардіна.

Перший точково-контактний біполярний транзистор був виготовлений в Bell Telephone Laboratories Джоном Бардіним та Волтером Браттейном 16 грудня 1947 р., а рівно через тиждень (23 грудня) був продемонстрований у дії перший двотранзисторний генератор-підсилювач. Цей прилад вже став музейним експонатом. Авторам у 1956 р. була присуджена Нобелівська премія з фізики.

Ще з дитинства Джон Бардін мав великий хист до математики. Здобуваючи інженерну освіту (електротехніка), він залюбки опанував і теоретичну фізику, особливо квантову механіку. Детально опрацьовував нові публікації з квантової механіки, а у 1928 р. відвідував у Медісоні лекції Поля Дірака (за матеріалами його знаменитої книги, що вийшла в світ через рік). Така цілеспрямованість й одержимість, таке поєднання в одній особі талантів інженера (стане автором багатьох патентів першорядної вартості), математика, спортсмена (майже на професійному рівні) та геніального фізика — все це не могло не принести радостей все нових відкриттів.

У 1951 р. Бардін приймає запрошення обійняти одночасно дві нові посади: професора електротехніки на електроінженерному факультеті та професора фізики на фізичному факультеті Іллінойського університету в Урбані. Цікаво, чому він полишає цю могутню компанію "Белл" і переїжджає до Урбани? Тут, на мою думку, є три моменти, над котрими повчально буде замислитися не тільки молодим, але й титулованим нашим вченим:

1. Цінність т. зв. "наукової мобільності". Якщо крупний спеціаліст, фундатор важливого нового наукового напрямку, бажає, щоб цей напрям розвивався, він повинен знаходити для цього сприятливий ґрунт і, з міркувань відданості науці, навіть іти на якісь тимчасові незручності. Бо зародження і плекання наукових шкіл розпочинається із засіву здорового зерна у сприятливий ґрунт.

2. Джон Бардін переїхав до Урбани тому, що в Чикаго була велика електронна промисловість, з якою він мав намір плідно взаємодіяти.

3. Турбота про молоду наукову зміну. Оптимальне (без надуживань!) поєднання професійної праці видатного вченого та його контактів з університетською молоддю (студентами, аспірантами, докторантами) на семінарах, лекціях, диспутах — то є і навчання, і приклад для наслідування одночасно.



В Іллінойському університеті, окрім транзисторної проблематики, у проф. Бардіна поновився серйозний інтерес до проблем електропровідності та надпровідності, якими він займався ще в аспірантські роки та які змушений був перервати у зв'язку з війною. Спонукальним імпульсом було, як ми вже згадували, відкриття у 1950 р. ізотопного ефекту в надпровідності.

Першим аспірантом проф. Джона Бардіна в Іллінойському університеті був прекрасний експериментатор Микола Голоняк (1928 р. н.), українець, батьки якого із Закарпаття.

Готуючи до друку дану працю, я 8 серпня 1997 р. написав Миколі Миколайовичу такого листа:

Вельмишановний п. Проф. М.Голоняк!

...Як мені стало відомо, Ви були чи не першим аспірантом проф. Бардіна в Іллінойському університеті. Тому я був би радий одержати від Вас короткі спогади про ті роки, про Вашого учителя Джона Бардіна як людину, а також деякі матеріали (може, й фотографії) про Вас і Вашу творчість. Бо дуже хочеться мені розповісти нашому читачеві як про особистість Джона Бардіна, так і про Вас, українського аспіранта і вихованця цього корифея.

Відповідь не забарилася: 29 серпня надійшли матеріали зі спогадами проф. М. Голоняка. Нижче подаю фрагменти цих спогадів (повніше вони опубліковані в журналі "Physics Today" за квітень 1992 р.). Звичайно, пише проф. М. Голоняк, за багато років перебування учнем Дж. Бардіна, а пізніше його колегою і другом, я бачив його в різних ситуаціях: на лекціях, в офісі, у лабораторії і на семінарах. Запам'яталися його слова: у будь-якій галузі людської діяльності є золоті ери, під час яких просування вперед йде великими кроками. У розвитку фізики твердого тіла можна виділити три такі ери. Перша ера пов'язана з відкриттями на початку нашого століття. Це був початок атомної ери. Друга, дуже активна ера зумовлена створенням квантової теорії.

Багато провідних теоретиків зі світовим ім'ям працювали над цим. Третя золота ера набула широкого розмаху після Другої світової війни, коли відбувся великий поступ не лише в теорії, але й у техніці і технології.



*Нобелівські лауреати Дж. БАРДІН,
В. ШОКЛІ і В. БРАТТЕЙН*

Специфічною датою початку "третьої золотої ери" фізики твердого тіла можна вважати день 16 грудня 1947 р.

Відкриття транзистора В. Браттейном та Дж. Бардіним і розроблення теорії $p-n$ -переходів В. Шоклі визначили початок нової ери в радіотехніці та радіофізиці.

У 1956 р. Дж. Бардін, В. Браттейн і В. Шоклі справедливо були нагороджені Нобелівською премією з фізики. Формула Нобелівського комітету звучала так: "За дослідження напівпровідників та відкриття транзисторного ефекту".

Проф. М. Голоняк продовжує: Бардін був такою ключовою фігурою на початку транзисторної електроніки, що він міг би стати знаменитим, навіть коли б не був автором інших революційних відкриттів, таких як теорія надпровідності.

Неминуче така особа буває оточена різними легендами. Можливо, в тому і була якась часточка правди, коли студенти називали його "мовчазним Джоном" (розмовляв тихо), а співробітники вважали його непогрішимим. Справді, Джон розмовляв тихо, особливо під час тривалої дискусії та коли глибоко замислювався.



З цього приводу дещо іронічно висловився грузинський фізик Елевтер Андронікашвілі, який часто зустрічався з Бардіним на конференціях. У книзі “Начинаю с Эльбруса... (Творческие портреты ученых)”, виданій у Тбілісі 1982 р., він пише: “...Артикуляція Бардіна така, що він при розмові не ворухить губами. Крізь його майже закриті уста вилітають не слова, а окремі звуки”.

Відомо, що Бардін не говорив багато, але те, що він казав, завжди було обдумано й виважено. Він завжди давав найбільш доречні поради. Ніколи не бував спантеличеним чи заляканим, навіть перед президентською комісією. Мав спокійний характер, завжди був стриманий, замислений.

Як пише М. Голоняк, Джон Бардін був людиною найвищої чесності і ніколи не дозволяв своє ім'я використовувати недоречно чи фальшиво. Мудрість і чесність — такі були його принципи.

Коли хтось звертався до професора за порадою, відчував, як він негайно схоплює суть проблеми. Навіть якби Джон і помилився, — пише М. Голоняк, — для нас він завжди був непогрішимим. Репутацію непогрішого він заслужив завдяки величезному таланту, інтуїції, глибокому розумінню квантової фізики, його важкій праці й роздумами над проблемою перед тим, як обнародувати свої думки. Джон не був з тих, хто носить з напівспеченими ідеями, а тому він не зробив явних помилок.

З цього приводу, мабуть, доречним буде зазначити: твердження про непомильність того чи іншого вченого — то лише міф. Бо механізм творчого пошуку за своєю сутністю невіддільний від діалектичних протиріч евристичного, психологічного, індуктивно-дедуктивного, раціонально-інтуїтивного плану. Зрештою, при добуванні усякого нового знання найголовнішою, притаманною цьому процесові суперечністю є неозначеність, пов'язана з дефіцитом інформації.

Проте, як стверджує відомий афоризм, “помилки великих є не менш повчальними, ніж їхні успіхи”.

Проф. М. Голоняк згадує як у 1963 р. Дж. Бардін рекомендував йому займатися

“синьо-зеленим” лазером на карбіді кремнію (SiC), у якому була нагальна потреба. Однак такий лазер неможливий, оскільки SiC є непрямозонним напівпровідником. “Невдовзі після моєї з Джоном розмови про фіктивність SiC-лазера, він похитав головою і не наполягав більше на своєму”.

Джон Бардін володів тонким почуттям гумору. Був доброю і дуже великодушною людиною. Особливу щедрість проявляв до здібної наукової молоді.

Важко окреслити загальну кількість студентів, різних відвідувачів, яких він консультував і які зобов'язані йому своїми початковими здобутками.

Здавалося, що його час йому не належить. До останніх днів свого життя вів семінари, проводив бесіди, писав наукові праці.

Він був Учителем з великої літери, взірцем вищого гатунку.

Популярність як самоціль ніколи його не цікавила.

На поважних докторантських іспитах він часто був голосом розуму, був у змозі побачити, до чого саме кандидат мав здібності і куди він міг би вкласти свій хист.

У людях він завжди бачив краще, а не найгірше. Дж. Бардін — один з найбільших теоретиків у царині фізики твердого тіла. Але він так само знаменитий як інженер і винахідник. Недарма його названо одним із 11-ти лауреатів американської національної відзнаки під назвою “Премія III століття”, яку присуджують за найвидатніші відкриття, здійснені за 200 років існування патентного права США.

Математичні й аналітичні здібності Бардіна були дивовижні, а інтуїція стосовно “правильної і хибної фізики” — незрівнянна. Він був спроможний розв'язувати надзвичайно важкі (навіть заплутані) проблеми, на яких спотикалися найкращі уми.

Праці Джона Бардіна мали визначальний вплив практично на всі основні галузі фізики твердого тіла: електронні процеси в металах і напівпровідниках, магнетизм, фізика поверхні напівпровідників, теорія дифузії атомів у кристалах, фізика низькорозмірних систем, оптоелектроніка, нарешті, проблеми високотемпературної надпро-



відності. Вплив Бардіна (науковий та організаційний) на технічне й наукове життя нашого часу вважається унікальним. Навіть у розвитку ксерографії відоме його сприяння...

Журнал "Лайф" назвав Джона Бардіна серед 100 найвидатніших людей ХХ століття.

А японська компанія "Sony" заснувала кафедру Джона Бардіна з фізики, електроніки та комп'ютерної інженерії Іллінойського університету в Урбані, пожертвувавши університетові 3 млн. доларів. Не так часто буває, щоб промислова фірма робила університетові такі великі внески.

Розуміючи роль науки і культури в суспільстві, Бардін завше підтримував прогресивні ідеї. Як член Наукової ради (1959-1962) при Президентові США Д. Ейзенгауері він, зокрема, підтримав ідею про спорудження у Вашингтоні пам'ятника Т. Шевченкові. Рішуче виступав на захист академіка Андрія Сахарова.

"Він буде нас завжди надихати", — так завершує спогади про Дж. Бардіна його учень Нік Голоняк.

Звичайно, пише проф. Голоняк, історикам потрібен буде певний час, щоб сказати все про Бардіна. Один з відомих американських істориків працює над повною біографією Джона Бардіна. Але книга ще не скоро буде готова й опублікована.

Сподіваюся, що мій юний читач, вдумливий та допитливий, котрий прагне знайти свою життєву стежину, щоб прислужитися науці і культурі, візьме собі за добрий взірець таку особистість, як двічі лауреат Нобелівської премії Джон Бардін.

Про першу Нобелівську премію з фізики за 1956 р. вже було сказано вище. За що ж друга премія найвищого рангу?

В Іллінойському університеті Дж. Бардін, окрім продовження досліджень напівпровідників розгорнув дослідження з теорії надпровідності. До цих робіт енергійно долучилися два його недавні студенти з цього ж університету — Леон Купер (1930 р. н.) та Джон Роберт Шріффер

(1931 р. н.), які під керівництвом свого професора розробляли відповідні наукові теми: Л. Купер — як постдокторант, а Дж. Шріффер — як аспірант. Основна підсумкова праця була опублікована в журналі "The Physical Review" за 1957 р.

Нобелівська премія з фізики за 1972 р., присуджена Дж. Бардіну, Л. Куперу та Дж. Шріфферу, мала формулу: "За спільне створення теорії надпровідності, іменованої БКШ-теорією".



Нобелівські лауреати Дж. БАРДІН, Л. КУПЕР і Дж. ШРІФФЕР (1972 р.)

Отже, Джон Бардін є поки що єдиним вченим, якого в галузі фізики відзначено двома Нобелівськими преміями.

Зважаючи, що ім'я Джона Бардіна є непересічним навіть серед високотитулованих вчених, зробимо ще один маленький "ліричний відступ".

Вагомий внесок у вивчення надплинності зробив колишній докторант акад. Петра Капиці грузинський фізик Елевтер Андронікашвілі, молодший брат популярного літературознавця і письменника Іраклія Андронікова. У книзі спогадів "Розпочинаю з Ельбруса..." Андронікашвілі пише:

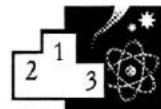
"...У літаку ми з Бардіним летіли разом і сиділи поряд. Розмова йшла, природно, про фізику твердого тіла.

На прощання я поцікавився:

— Бардін — це російське прізвище. Серед Ваших предків були росіяни?

— Ні, — відповів він, — я не Бардін, а Бардін. Мої предки шотландці, і хтось з них, мабуть, був бардом..."

Проф. Ярослав ДОВГИЙ



Задачі 7-го Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків, 1999 р.

Наука изоощряет ум, ученье вострит память

(Козьма Прутков, афоризм № 7)

1. "Придумай сам"

Запропонуйте конструкцію рідинного насоса, дія якого ґрунтується на піноутворенні при продуванні крізь рідину струменів повітря. Визначте його к.к.д.

2. "Універсальна лінза"

Яким повинен бути показник заломлення середовища, щоб майже усі промені, що вислані з практично будь-якої точки, фокусувалися в іншій?

3. "Плівка"

Дослідіть та оцініть енергоутворення з одиниці поверхні поліетиленових плівок, які розтягують. Як при цьому змінюється їх прозорість?

4. "Віртуальні м'ячі"

Двоє космонавтів у невагомості початково рухаються назустріч один одному. Під час руху вони перекидуються двома м'ячами. Визначте параметри їх "розсіювання" при такій "взаємодії".

5. "Земля"

Згідно з однією із сучасних гіпотез зміна клімату на Землі пов'язана із зміною її орієнтації. Опишіть, як може змінюватися ця зміна внаслідок намерзання води на полюсах.

6. "Вологе прибирання"

Мокру ганчірку найважче за все тягти, коли вона повністю розстелена по підлозі. З'ясуйте, чим визначається сила такого "тертя".

7. "Колумбове яйце"

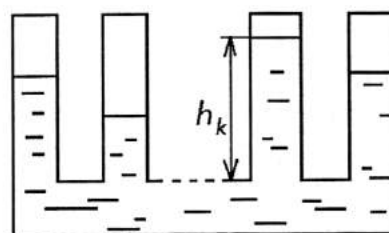
Усім відомо, як "поставити" варене яйце на його кінчик за рахунок обертання. Опишіть динаміку цього ефекту. У скільки разів швидкість обертання сирого яйця повинна бути більшою, щоб досягнути такого ж положення?

8. "Спотворення"

Якщо розмовляти через багаття, то звук дещо спотворюється. Спотворюється він і тоді, коли кореспондент бере інтерв'ю у вітряну погоду. Проведіть порівняння спотворень звуку у вказаних випадках.

9. "Сполучені посудини"

Система N однакових сполучених посудин заповнена ідеальною рідиною так, що у початковий момент у k -ій посудині висота стовпа дорівнює h_k (див. мал.). У постановці задачі бажано розглянути такі питання:



- Характер малих коливань рівнів;
- У наближенні (а) розгляньте випадок, коли N прямує до нескінченності та визначіть у цьому випадку швидкість поширення збурення рівнів;
- Розгляньте граничний випадок, коли відстань між посудинами прямує до нуля (континуальне наближення);
- Порівняйте отриману швидкість поширення збурення рівня із швидкістю гравітаційних хвиль на воді (скінченної та нескінченної глибини).



10. "Казанок"

Казанок з водою підвішений над багаттям. Під час кипіння він починає хаотично рухатися. Дослідіть це явище та опишіть його.

11. "Рекорд на пляжі"

Настільки швидко треба йти по сипучих пісках, щоб не загрузнути? Оцініть, у скільки разів досягнення легкоатлетів на твердому ґрунті відрізнялися б від аналогічних на піску (біг на 100 м, стрибки у висоту з шестом та стрибки у довжину).

12. "Точка Кюрі"

Якщо на нитці підвісити голку та розмістити її поблизу магніта, то голка притягнеться до нього. Після нагрівання голки у полум'ї свічки вона повернеться у початкове положення, а потім знову притягнеться до магніта. Дослідіть та опишіть характеристики коливального процесу у цій системі.

13. "Ракетка для бадмінтона"

Як повинні бути натягнені струни ракетки для гри у бадмінтон і який проміжок повинен бути між ними, щоб при ударі вола застряв?

14. "Версор"

Для дослідження електростатичного поля італієць Джироламо Фракастро (згідно з припущенням істориків) виготовив версор. Сконструуйте подібний пристрій, що дозволяє реєструвати слабкі електричні поля, та оцініть його чутливість. Продемонструйте пристрій у дії.

15. "Проблема різання"

Якими повинні бути радіуси кривин леза щаблі, щоб волосинка, яка впала на неї, розрізалася на дві частини? Як зміниться відповідь для меча?

16. "Радіометр"

Визначте залежність кутової швидкості обертання крилець радіометра у залежності від інтенсивності світлового потоку та концентрації молекул у його балоні.

17. "Монетки"

...Буратіно, нібито не розуміючи, чого від нього хочуть, тільки часто-часто дихав носом. Розбійники трясли його за комір, один загрожував пістолетом, другий нишпорив по кишенях.

- Де твої гроші? — ричав високий.
- Гроші, паскуднику! — шипів низенький.
- Розірву на шматки!
- Голову відгризу!
- Тут Буратіно від жаху так затрусився, що золоті монети задзвеніли у нього в роті (О. М. Толстой "Золотий ключик або пригоди Буратіно"). А з якою точністю розбійники можуть за дзвоном визначити кількість монет у роті Буратіно?

Задачі запропонували та підготували:

Альтман І.С., Віктор П.А., Волков Е.Л.,
(Феодосія), Іванов К., Колебошин В.Я.,
Колебошин С., Колос С.П., Кулінський В.Л.,
Копейченко Д., Манакин В.Л., Шундяк К.Є.

Про умови проведення Всеукраїнських турнірів юних фізиків можна дізнатись із статті Колебошин В.Я., Ворохаєва В.І., Заворотна П.Л. "Турніри юних фізиків" ("Світ фізики", 1998, № 1, с. 23-24).



IV Соросівська олімпіада школярів України

Умови задач II (проміжного) туру

11 клас

(Продовження, початок див. журнал
"Світ фізики" № 1, 98 р.)

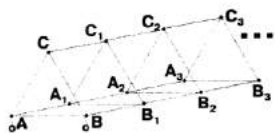
1. Вертикаль.

На невагомій нерозтяжній нитці довжиною l підвішено маленьку кульку масою m , що несе електричний заряд q . Під нею на відстані $2l$ від точки підвісу закріплена така ж сама кулька. Якою повинна бути маса кульок, щоб у положенні стійкої рівноваги нитка розташувалася вертикально? Гравітаційною взаємодією між кульками нехтувати.

2. Прожектор.

Прожектор обертається у центрі тонкого обруча з великим радіусом R та освітлює невеличку рухому пляму на ньому. Прожектор, розміри якого значно менші за R , та обруч розташовані у горизонтальній площині; кутова швидкість обертання прожектора ω , його промінь тонкий. Далеко від обруча під кутом j до горизонту (якщо дивитися з центру обруча) розташований спостерігач. Знайти найменше значення ω , за якого спостерігач побачить більше однієї світлової плями на обручі.

3. Електричне коло.



У намальованому на рисунку нескінченному електричному колі опір кожного дрота, що з'єднує позначені літерами точки, дорівнює r . Знайдіть опір кола між точками A і B .

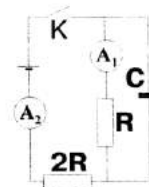
4. Не та гіпербола.

Під час тренувального польоту курсант Вілко вирішив зекономити паливе і змінити курс свого космічного корабля на 10° , пролетівши з вимкненими двигунами у

гравітаційному полі зірки Сомнабули. Розрахунок показав, що корабель пройде на безпечній відстані в 50 млн. км від центра зірки (навіть курсанти знають, що пояс астероїдів навколо Сомнабули має радіус 20 млн. км). Однак у базу даних комп'ютера Вілко вкралася помилка і дані про масу Сомнабули було занижено у 10 разів. На який кут відхилиться курс корабля Вілко, якщо той не ввімкне двигун? На якій мінімальній відстані від зірки він пролетить?

Дсвідка: корабель буде рухатися за гіперболою, у фокусі якої буде Сомнабула. Властивість гіперболи полягає в тому, що різниця відстаней між довільною точкою на кривій та її фокусами є сталою величиною.

5. Максимальний струм.



Визначте максимальні струми в амперметрах після замикання ключа в зображеній на малюнку електричній схемі. ЕРС батареї E , внутрішній опір r . Накресліть графіки залежності цих струмів від часу.

6. Тягарець.

Невагома нитка прив'язана до двох цвяхів, розташованих на однаковій висоті. Відстань між цвяхами $L = 40$ см, довжина нитки $D = 50$ см. Вздовж нитки ковзає без тертя невеликий тягарець, здійснюючи малі коливання біля положення рівноваги. Знайдіть період коливального руху тягарця.

Теоретичний тур (фінал)

4 листопада 1997 року

11 клас

1. Обережно з вогнем.

У ясний літній день я запалив папір за допомогою лупи. Запалювальне скло було не дуже великим (діаметр $D = 5$ см) і папір запалився не одразу. Напевно з лупою меншого розміру (з тою ж фокусною відстанню) я взагалі не зміг би його запалити. Чи зміг би я запалити папір сонячними променями за допомогою цієї ж лупи а) на Венері, б) на Марсі, в) на Плутоні, г) на α Центавра? Наявність кисню та інші земні умови забезпечені, необхідно тільки створити потрібну яскравість зображення Сонця.

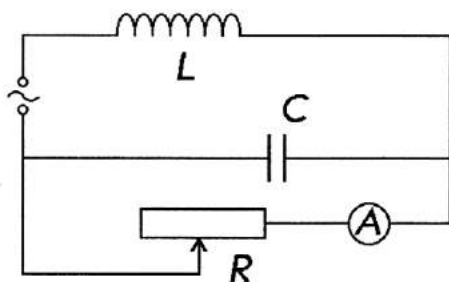
Довідкові відомості: Сонце видно з Землі під кутом $0,5^\circ$. Відстань від Сонця до Венери дорівнює 0,72 а.о., до Марса - 1,5 а.о., до Плутона - 39,5 а.о., до α Центавра - 260000 а.о., де 1 а.о. (астрономічна одиниця) - середня відстань від Землі до Сонця.

2. Позитрон.

На поверхні Землі стоїть вакуумна камера, у вакуумі лежить кусок металу, в металі просвердлено тонкий вертикальний отвір. З яким прискоренням буде рухатися вздовж вертикальної осі позитрон, який знаходиться в центрі отвору?

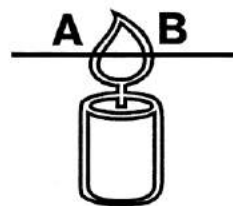
3. Резонансна частота.

Частота змінної напруги у колі змінного струму дорівнює $\omega = (LC)^{-1/2}$. У скільки разів зміниться величина струму, зафіксованого амперметром, при збільшенні опору змінного резистору в 2 рази?



4. Свічка та дріт.

Тонкий і дуже довгий мідний дріт нагрівається полум'ям свічки протягом тривалого часу. Температура частин дроту поза полум'ям (вправо від т. В та вліво від т. А на малюнку) знижується при збільшенні відстані x до свічки експоненціально $T - T_0 \propto \exp(-|x|/a)$, де T_0 - температура у кімнаті, а a - характерна довжина затухання. Теплообмін дроту з повітрям відбувається за законом Ньютона (потік тепла через одиницю поверхні є пропорційним різниці температур). Як зміниться величина a при збільшенні товщини дроту вдвічі?



5. Юпітер та Калісто.

Навколо Юпітера обертається декілька супутників. Коли Земля, Юпітер і супутник розташовані на одній прямій, причому супутник ховається за Юпітером, астрономи звуть це верхнім геоцентричним сполученням. У таблиці, яка складена за даними The Astronomic Almanac, наведені дати та часи (за Грінвічем) таких сполучень для одного з супутників — Калісто — за 1987 р. та 1995-1998 рр. — місяці, дні (Д), години (Г) та хвилини (Х). Іноді Юпітер неможливо спостерігати із Землі. В таблиці на початку цих періодів стоять крапки.

Знайдіть за даними таблиці відстань до Юпітера, вважаючи орбіти його, Землі та Калісто коловими. Якщо можливі декілька способів, перелічіть їх і вкажіть найкращий. Відстань від Землі до Сонця приблизно дорівнює 150 млн. км. Середній період обертання Калісто складає 16 діб, 18 годин і 5 хвилин.

	1987 р.			1995 р.			1996 р.			1997 р.			1998 р.					
	Д	Г	Х	Д	Г	Х	Д	Г	Х	Д	Г	Х	Д	Г	Х			
Січень	5	15	17	16	6	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	13	49
	22	11	14				19	15	28							25	10	32
Лютий	8	17	39	2	2	26	5	11	55	24	18	6						
	25	4	24	18	21	30	22	8	0									
Березень	—	—	—	7	15	49	10	3	35	13	14	34						
				24	9	16	26	22	31	30	10	40						
Квітень				10	1	45	12	16	41	16	6	14	2	22	11			
				26	17	18	29	9	58					19	18	42		
Травень	3	16	10	13	8	4	16	2	17	3	1	10	6	14	51			
	20	12	45	29	22	21				19	19	18	23	10	28			
Листопад	6	8	58	15	12	34	1	17	41	5	12	33	9	5	27			
	23	4	42				18	8	21	22	4	49	25	23	40			
Червень	9	23	48	2	3	10	4	22	36	8	20	10	12	16	58			
	26	18	9	18	18	27	21	12	51	25	10	47	29	9	17			
Серпень	12	11	35	4	10	38	7	3	34	11	1	0	15	0	40			
	29	4	2	21	3	47	23	19	3	27	15	16	31	15	16			
Вересень	14	19	29	6	21	49	9	11	28	13	6	2	17	5	26			
				23	16	39	26	4	52	29	21	37						
Жовтень	1	10	7	10	12	9	12	23	10	16	14	11	3	19	40			
	18	0	16	27	8	9	29	18	15				20	10	24			
Листопад	3	14	25	13	4	32	15	13	59	2	7	45	6	2	1			
	20	5	5	—	—	—				19	2	15	22	18	39			
Грудень	6	20	35				2	10	12	5	21	32	9	12	18			
	23	13	8				19	6	47	22	17	26	26	6	54			

Теоретичний тур (фінал)

5 листопада 1997 року

11 клас

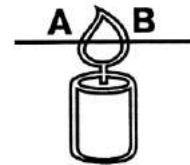
1. Пружинна підвіска.

Тіло масою m підвісили у середині кубічної скрині шістьма однаковими пружинами жорсткості k , які кріпляться до тіла і до середин граней куба. Пружини орієнтовані догори, донизу, на схід, захід, південь та північ. Розміри тіла набагато менші за довжину пружин L . Видовження пружин дорівнює $DL \ll L$. Тіло відводять на невелику відстань від центра скрині у напрямку, який має кути $q = 17^\circ$ і $j = 23,5^\circ$ у сферичній системі координат (тобто кут між напрямком та горизонтальною площиною є 17° , а проекція цього напрямку на горизонтальну площину відхиляється на $23,5^\circ$ від сходу) і звільняють. Яким буде період коливань тіла?

2. Кулька у конденсаторі.

Відстань між обкладинками нескінченного плоского конденсатора дорівнює d . Якщо в його центр помістити незаряджену металеву кульку радіуса $r \ll d$, то відносна зміна густини поверхневого заряду конденсатора у точках напроти кульки приблизно дорівнює $d\sigma/\sigma = A(r/d)k$. Визначте з точністю до 1% величини A та k .

3. Свічка та дріт наносять удар у відповідь.



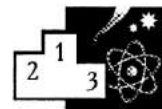
Тонкий і дуже довгий мідний дріт нагрівається полум'ям свічки. Температура частин дроту поза полум'ям (вправо від т. В та вліво від т. А на мал.) знижується при збільшенні відстані x до свічки експоненціально

$$T - T_0 \sim \exp(-|x|/a),$$

де T_0 - температура у кімнаті, а a - відома характеристика довжина затухання. Температура полум'я постійна та дорівнює T_1 , товщина полум'я $AB = 2b$, теплообмін дроту з полум'ям і повітрям відбувається за законом Ньютона. Знайдіть закон зміни температури на частині АВ. Чому дорівнює температура на межі полум'я в т. А та т. В?

4. Удар! Ще удар!

В ідеальному однорідному газі поширюється ударна хвиля. Її можна розглядати як тонкий шар — фронт, при перетинанні



якого різко, практично стрибком, змінюються тиск, густина й швидкість газу. Хвиля стаціонарна, тобто на фронті не накопичується енергія, імпульс, маса тощо, а параметри газу до фронту і після нього не залежать від часу. Газ рухається перпендикулярно площині фронту.

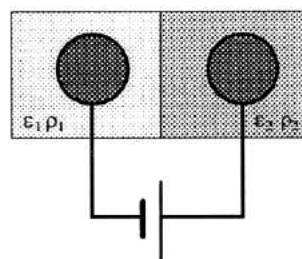
Теплоємність 1 моля газу C_v (при сталому об'ємі) є сталою і не залежить від температури. Втрати енергії на випромінювання на фронті хвилі відсутні.

а) Вважаючи відомою величину C_v , знайдіть формулу зв'язку між тисками та густинами газу до та після фронту за допомогою законів збереження в системі спокою фронту.

б) Знайдіть C_v , якщо відношення тисків та густин газу перед фронтом хвилі і за ним становлять $P_1 : P_2 = 1:2$ та $r_1 : r_2 = 2:3$.

5. Кулі у кубах.

Два однакові однорідні кубики мають діелектричні проникності і питомі опори ϵ_1, ρ_1 та ϵ_2, ρ_2 , відповідно. Куби приєднані один до одного однією гранню (див. рис.), а всередині їх містяться дві металеві кульки,



до яких, через ізольовані дроти, підключено джерело електричного струму. Через коло протікає сталий струм I . Знайдіть заряди на кульках.

С. Л. Парновський,

голова журі з фізики
Соросівських олімпіад,
доктор фіз.-мат. наук

Чи знаєте Ви що...

Нільс Бор (1885-1962)

Видатний датський фізик, лауреат Нобелівської премії Нільс Бор під час Другої світової війни, у 1943 році, був змушений покинути Копенгаген. Він не ризикував взяти з собою масивну золоту Нобелівську медаль і розчинив її в царській горілці (суміш азотної та соляної кислот), а сулію з розчином заховав у своїй лабораторії. Повернувшись додому після війни, він виділив хімічним способом золото з розчину і замовив з нього нову медаль.

Нільс Бор у молоді роки грав у футбол і був резервним воротарем однієї з чоловічих футбольних команд. Однак небажання виходити назустріч атакуючому супернику не дало йому можливості зайняти місце в першому складі команди, а його брат Гарольд був зіркою олімпійської команди, яка здобула срібну медаль на іграх в Англії у 1908 р.

Не зважаючи на свою наукову геніальність, Бор думав дуже повільно. Дж. Гамов згадував, що під час спільних походів в кіно Бор завжди задавав йому дурні питання. Хоча він уважно переглядав вестерн, часто мав клопоти з розумінням інтриги фільму. Але сформулював "теорію захисного стріляння", згідно якої свідомість прийняття рішень є завжди повільніша від реакції інстинкту. Бор перевіряв свою гіпотезу за допомогою голландського фізика Г. Казіміра і пари пістолетів-забавок.



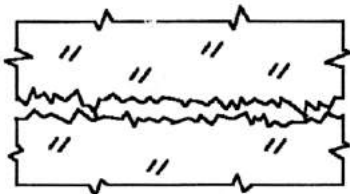
ТЕРТЯ СПОКОЮ

На 10-му міжнародному Турнірі Юних Фізиків пропонувалася задача:

“Описати залежність сили тертя спокою від площі контакту”.

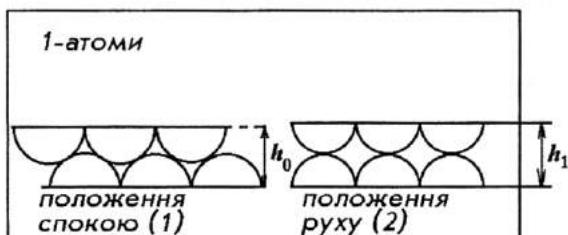
Для того, щоб вирішити цю проблему, проаналізуємо причини, що зумовлюють тертя взагалі, і, зокрема, тертя спокою.

Розглянемо фізичні процеси, які відбуваються при русі одного тіла по поверхні іншого, врахувавши мікроскопічну будову поверхонь. Зрозуміло, що на кожній з поверхонь в атомному масштабі є виступи і впадини, які різні по формі і за розмірами.



Однак їх можна описати певною величиною Δh - характерною висотою. Тому верхнє тіло під час свого руху буде постійно підніматися на цю висоту Δh і падати з неї. Разом з цим у процесі руху руйнуються міжатомні зв'язки, утворені в місцях безпосереднього контакту двох поверхонь, а також відбувається пружна і непружна деформація цих нерівностей.

Спробуємо більш детально описати процес сухого тертя, використовуючи конкретні моделі поверхонь, що труться.



1. Ідеалізований випадок тертя двох абсолютно гладких поверхонь.

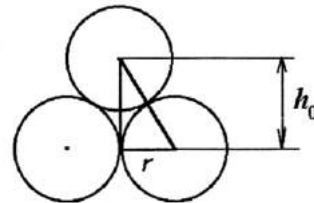
Розглянемо два положення двох ідеальних поверхонь.

Розрахуємо характерну висоту підйому Δh . Як видно з малюнка, $\Delta h = h_1 - h_0$.

Нехай r - радіус атома. Очевидно :

$$h_1 = 2r, \text{ а } h_0 = \sqrt{4r^2 - r^2} = \sqrt{3}r,$$

тому $\Delta h = (2 - \sqrt{3})r$.



При переході з початкового положення у положення максимального підйому кількість зв'язків, утворених кожним атомом, зменшується від 4 до 2. Якщо δ - енергія одного міжатомного зв'язку, а на площу S припадає $S/4r^2$ атомів, то для тіла масою m робота по його переміщенню з першого положення у друге положення буде:

$$A = \frac{2\delta S}{4r^2} + Mgr(2 - \sqrt{3}).$$

Тоді сила, необхідна для переміщення:

$$F = \frac{A}{r} = \frac{\delta S}{2r^3} + (2 - \sqrt{3})N, \quad N = Mg.$$

2. Реальний випадок тертя поверхонь з помітними нерівностями.

При аналізі цього випадку доцільно розглянути два варіанти. В першому варіанті передбачається, що відбувається тільки пружна деформація поверхонь, а площа дійсного контакту S_0 значно менша від загальної площі S , але $S_0 = f(S)$, і у лінійному наближенні можна вважати $S_0 \approx cS$. Під час руху площа дійсного контакту



змінюється, а роботу, яка при цьому виконується можна, представити :

$$A = c_1 S_0 = cc_1 S ,$$

де c_1 - коефіцієнт пропорційності.

Тоді, очевидно, якщо позначити δ_1 - енергію пружної деформації на одиниці площі, що заважає рухові тіла, d - характерний розмір нерівностей, а α - середній кут їх нахилу до горизонту, то сила тертя буде :

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{cc_1}{d} S + \frac{\delta_1}{d} S + tg \alpha \cdot N = \\ &= \left(\frac{cc_1}{d} + \frac{\delta_1}{d} \right) S + tg \alpha \cdot N \end{aligned}$$

Тут перший доданок відповідає за міжатомні зв'язки, другий за пружну деформацію нерівностей, а третій за вклад нерівностей поверхонь.

Під час руху відбуваються також певні непружні деформації. При цьому відбувається "стікання" нерівностей. Силу тертя, пов'язану з ним, можна записати [1, 2] :

$$F_t = N \cdot \frac{P}{P_0} ,$$

де P - тиск, що чинить верхнє тіло на поверхню, P_0 - критичний тиск, при якому починаються непружні деформації. Отже, узагальнений вираз для сили тертя буде:

$$F = S \left(\frac{cc_1}{d} + \frac{\delta_1}{d} \right) + tg \alpha \cdot N + N \cdot \frac{P}{P_0} ,$$

а врахувавши $P = N/S$

$$F = S \left(\frac{cc_1}{d} + \frac{\delta_1}{d} \right) + tg \alpha \cdot N + \frac{N^2}{P_0 S} .$$

Щоправда, величина s залежить від тиску P , оскільки при "стіканні" нерівностей площа дійсного контакту збільшиться. Однак цією залежністю можна знехтувати для випадку не надто великих тисків.

Таким чином, на основі проведеного аналізу залежності сили тертя спокою від площі контакту та сили реакції опори ми отримали вираз:

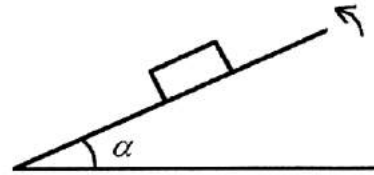
$$F = k_1 S + k_2 N + k_3 \frac{N^2}{S} , \quad (1)$$

де k_1, k_2, k_3 - коефіцієнти, що залежать від особливостей поверхні. Як бачимо формула (1) дещо незвична, адже з шкільної лави ми знаємо, що сила тертя спокою :

$$F = \mu N .$$

Формула (1) в загальному вигляді стверджує, що сила тертя залежить від площі контакту, але конкретну функціональну залежність не можна встановити, не знаючи значень коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 .

З метою визначення коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 в даній роботі проведено експериментальне дослідження залежності сили тертя від площі контакту. Дослідження проводились за допомогою тіл, що мали форму паралелепіпедів, та похилої площини. Під час експериментів вимірювався кут α , при якому тіло починало рухатись.



Площу контакту змінювали, використовуючи різні грані паралелепіпеда. При цьому були вибрані тіла з однаково обробленими різними гранями з метою мінімізації впливу відмінностей у мікроструктурі цих поверхонь. Досліджувались паралелепіпеди виготовлені зі сталі та оргскла. При експериментальному дослідженні було здійснено дві серії експериментів. У першій — при постійній масі тіла змінювалась площа контакту, а в другій — при постійній площі контакту змінювалась маса тіла. Проаналізуємо суть проведених експериментів.

Силу тертя в момент початку руху можна записати :

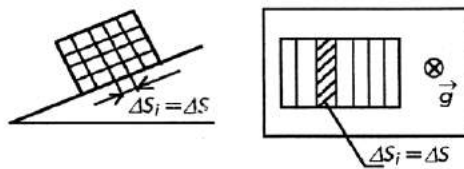
$$F_T = mg \sin \alpha .$$

Однак, враховуючи те, що тіла мають певну висоту, виникає деякий обертальний момент, який приводить до неоднорідного розподілу навантаження на різні ділянки площі. Врахування цього ефекту проводилось в даній роботі шляхом моделювання з використанням ЕОМ.

Розглянемо процес моделювання.



Тіло розбиваємо на велику кількість елементарних паралелепіпедів. Для спрощення розрахунків здійснюємо таке розбиття, при якому всі маленькі паралелепіпеди рівні між собою. Силу реакції, що діє на i -ту ділянку, позначимо N_i .



Максимальна сила тертя спокою на одиницю площі згідно формули (1):

$$\Delta F_i = k_1 \Delta S_i + k_2 \Delta N_i + k_3 \frac{\Delta N_i^2}{\Delta S_i},$$

а сумарна сила для даного тіла:

$$F = \sum_{i=1}^n \Delta F_i = k_1 \sum_{i=1}^n \Delta S_i + k_2 \sum_{i=1}^n \Delta N_i + k_3 \sum_{i=1}^n \frac{\Delta N_i^2}{\Delta S_i}$$

(сумування відбувається по всіх паралелепіпедах, що контактують з похилою площиною). Так як $F_T = mg \sin \alpha$, то для кожного вимірювання одержимо (враховуючи

$$\sum_{i=1}^n \Delta S_i = S) \text{ рівняння:}$$

$$mg \sin \alpha = k_1 S + k_2 \sum_{i=1}^n \Delta N_i + \frac{k_3}{\Delta S} \sum_{i=1}^n \Delta N_i^2. \quad (2)$$

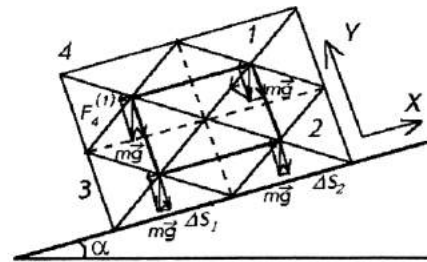
Залишається розрахувати $\sum_{i=1}^n \Delta N_i$

$$\text{та } \sum_{i=1}^n \Delta N_i^2.$$

Проілюструємо метод, використаний для розрахунків цих сум, на найпростіших прикладах. Розіб'ємо тіло на чотири частини (див. мал.) і кожену з них замінимо матеріальною точкою, що розміщена в центрі мас відповідної частини, і жорстко зв'язана з іншими. Позначимо масу кожної точки m . Для даного випадку

$$m = \frac{M}{4}.$$

Сили будемо позначати \vec{F}_i^k , де k - номер точки, що діє; i - номер точки, на яку діє сила (тобто \vec{F}_i^k діє по зв'язку $k-i$).



Починаємо з правого верхнього кута - точки 1. На неї діє тільки сила $m\vec{g}$. Значення сил $\vec{F}_4^{(1)}$, $\vec{F}_3^{(1)}$, $\vec{F}_2^{(1)}$, знаходимо як проекції сили $m\vec{g}$ на відповідні зв'язки. На точку 4 діє сила $m\vec{g}$ та $\vec{F}_4^{(1)}$, що передається від точки 1. Сумарна сила буде

$$\vec{F}^{(4)} = m\vec{g} + \vec{F}_4^{(1)}.$$

Аналогічно на точку 2 діє сила

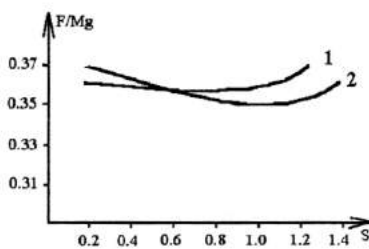
$$\vec{F}^{(2)} = m\vec{g} + \vec{F}_2^{(1)}.$$

На точку 3 діє сумарна сила

$$\vec{F}^{(3)} = m\vec{g} + \vec{F}_3^{(4)} + \vec{F}_3^{(1)} + \vec{F}_3^{(2)}.$$

Знайшовши сумарні сили, що діють на відповідні точки, знаходимо проекцію цих сил на вісь y і визначаємо N_1 та N_2 . Так само, але, звичайно, значно громіздкіше проводяться розрахунки для більшої кількості елементів розбиття, тому зрозуміло, чому всі ці процедури реалізувались на ЕОМ.

З кожної серії експериментів, виконавши описані вище розрахунки, отримуємо системи рівнянь з трьома рівняннями виду (2) у кожній. На основі кожної з цих систем методом найменших квадратів знаходимо дві групи коефіцієнтів k_1 , k_2 , k_3 . Оскільки в нашій моделі розгляду цієї задачі коефіцієнти k_1 , k_2 , k_3 не залежать від S та N (в певному інтервалі значень цих величин), а вони не повинні залежати від способу вимірювання. Відповідність цих пар коефіцієнтів, очевидно, характеризує точність вибраної нами моделі опису процесів тертя.



На графіку зображено залежність сили тертя від площі контакту, причому крива 1 розрахована на основі коефіцієнтів k_1 , k_2 , k_3 отриманих в першій серії дослідів, а крива 2 — в другій.

Таким чином, проведені в даній роботі теоретичні та експериментальні дослідження дозволили встановити конкретну залежність сили тертя від площі контакту і дати відповідь на поставлену задачу. Однак, ця залежність досить слабка і, крім цього, спотворена різними факторами, про що свідчить певне розходження залежності сили тертя від площі контакту у двох серіях експериментів. Тому, якщо абстрагуватись від виявлених в даній роботі залежностей сили тертя від площі контакту та інших

факторів з точністю 5-10 %, можна вважати, що сила тертя не залежить від площі контакту!!! Тобто можна використовувати формулу:

$$F = \mu N .$$

Звичайно, при теоретичному аналізі цієї задачі ми зупинились на найбільш простих процесах контактної взаємодії двох тіл, тому цією роботою дослідження поставленої проблеми не вичерпується.

Тим читачам, які зацікавились цими проблемами, можна порекомендувати звернутись до додаткової літератури, в тому числі і наведеної тут.

Література

- [1] Дерягин Б. В. Что такое трение? - М., - издат. Акад. наук СССР, 1963, 230 с.
- [2] Макушон Е. М. Механика трения. - Минск, - Наука и техника, 1974, 256 с.
- [3] Журнал "Квант", № 8, 1986.

Олег Фаренюк,
студент 1-го курсу
фізичного факультету
Львівського університету



**Вільне володіння англійською мовою -
це Ваш шлях у XXI століття!**

**Мовна школа
International House
допоможе Вам прокласти цей шлях**

- ☺ Сертифіковані Лондоном викладачі з Великобританії, США, України
- ★ Унікальна програма для підлітків та дорослих
- 📖 Методика, розроблена в Оксфордському університеті, дозволяє легко подолати мовний бар'єр та почати розмовляти англійською мовою
- 📖 Підручник NOTLINE входить до десятки найкращих підручників у світі
- 🔔 Заняття тричі на тиждень
- 😊 Групи до 10 осіб
- 🏠 По суботах - англійський клуб

Подбайте про своє майбутнє!

Наша адреса: м. Львів, вул. Зелена, 109, праве крило, другий поверх. Тел. 72-60-68.



АРКУШ ПАПЕРУ

Під яким кутом до горизонту потрібно кинути зібганий аркуш паперу, щоб він пролетів якнайдалі?

Розв'язок даної задачі для одного конкретного аркуша паперу не несе практичної цінності. Тому ми ставимо за мету знаходження характеристик, які б якісно описували політ в загальному випадку.

Всі зібгані аркуші відрізняються один від одного за формою, але в той же час нагадують кульку. Тому за досліджуване тіло ми вибираємо кулю. Тобто задача зводиться до дослідження руху кульки під дією сили опору повітря в полі земного тяжіння.

Для того, щоб визначити характер залежності сили опору від швидкості руху потрібно обчислити число Рейнольдса [1]

$$R = \frac{\rho v l}{\eta},$$

де l , ρ , v , η – відповідно радіус кульки, густина повітря, швидкість руху кульки, в'язкість повітря. Зробивши відповідні оцінки [4] знайдемо, що R перевищує $R_{\text{крит}}$ ($R_{\text{крит}} = 2300$) більше, ніж на два порядки, що свідчить про те, що сила опору повітря пропорційна квадрату швидкості, тобто $F_{\text{оп}} = -cv^2$, або в векторній формі:

$$\vec{F}_{\text{оп}} = -c|\vec{v}|\vec{v}.$$

Розіб'ємо рух кульки на дві фази:

- 1) вгору до $v_y = 0$;
- 2) вниз до $y = 0$.

Розглянемо першу фазу.

Виберемо початок координат в точці вильоту, запишемо рівняння руху і спроектуємо його на осі:

$$\begin{aligned} m\vec{a} &= \vec{F}_{\text{оп}} + m\vec{c} \\ ma_x &= -F_{\text{оп}x} \end{aligned} \quad (1)$$

$$m(dv_x/dt) = -c v v_x,$$

$$\begin{aligned} dv_x/dt &= -k(v_x^2 + v_y^2)^{1/2} v_x \\ ma_y &= -F_{\text{оп}y} - mg \end{aligned} \quad (2)$$

$$m(dv_y/dt) = -c v v_y - mg,$$

$$dv_y/dt = -k(v_x^2 + v_y^2)^{1/2} v_y - g.$$

Зроблено заміну $c/m = k$.

При розв'язуванні даних диференціальних рівнянь отримаємо залежності проекцій швидкості на координатні осі від часу. Для того, щоб знайти траєкторію польоту, напишемо рівняння $v_x = dx/dt$; $v_y = dy/dt$. Вважаємо, що задані початкові умови $x = 0$, $y = 0$, v_0 , α , де v_0 і α відповідно початкова швидкість і кут вильоту.

Тепер ми маємо повну математичну модель першої фази руху. Отримані диференціальні рівняння не розв'язуються аналітично. Тому будемо шукати розв'язок за допомогою чисельного методу Ейлера*. Складемо алгоритм.

$$h = 0.0001; x = 0; y = 0;$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha; v_y = v_0 \sin \alpha;$$

поки $v_y > 0$ {поки тіло не зупиниться}.

Початок циклу

$$v_x = v_x - k(v_x^2 + v_y^2)^{1/2} v_x h$$

$$v_y = v_y - (k(v_x^2 + v_y^2)^{1/2} v_y + g) h$$

$$x = x + v_x h$$

$$y = y + v_y h$$

$$t = t + h$$

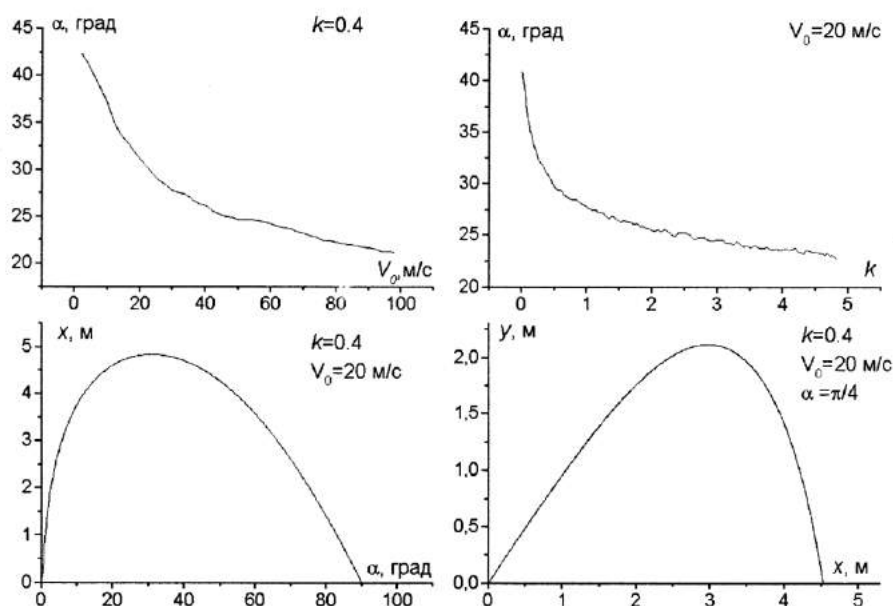
Кінець циклу.

* Метод Ейлера [2, 3]. Нехай задано диференціальне рівняння $dx/dt = f(x, t)$. Замінімо його наближеною рівністю

$$(x_{i+1} - x_i)/h = f(x_i, t_i). \quad (3)$$

$$x_{i+1} = f(x_i, t_i)h + x_i, \quad t_{i+1} = t_i + h.$$

Ми отримали рекурентні формули, які і є робочими формулами методу Ейлера. Цей метод тим точніший, чим точніше (3) замінює диференціальне рівняння, тобто точність збільшується при зменшенні h . Але слід враховувати, що при дуже малих h збільшується похибка округлення.



Розглянемо другу фазу. Для руху вниз сила тяжіння увійде до рівняння (2) з протилежним знаком. Тобто, змінивши в алгоритмі знак перед доданком, що відповідає за силу тяжіння і умову $V_y > 0$ {поки тіло не зупиниться} на $y > 0$ {поки тіло не досягне землі}, отримаємо алгоритм для другої фази руху, початковими даними якого будуть виступати вихідні дані алгоритму першої фази. В результаті послідовного виконання двох даних алгоритмів отримаємо дальність польоту $L = x$ для даного кута вильоту. Застосувавши дану процедуру для багатьох кутів знайдемо той, при якому кулька пролітає максимальну відстань, тобто оптимальний.

На основі даного алгоритму було складено програму, результати виконання якої подані нижче.

Проаналізуємо результати експерименту. Для нульової початкової швидкості отримано оптимальний кут 45° . Також було перевірено роботу алгоритму для $w = 0$. Як і очікувалося, в цьому випадку отри-

мувалися параболічна траєкторія і оптимальний кут рівний 45° . Отже, отримані результати узгоджуються з уже відомими розв'язками спрощеної задачі.

Як впливає з даних експериментів: для $w = 0.4$, $V_0 = 20$ м/с тіло пролітає максимум 4.8 м при куті вильоту 31° градус.

Література

- [1] Архангельский М. М. Курс физики. Механика, - М. : - Просвещение, 1975.
- [2] Шуп Т. Е. Прикладные численные методы в физике и технике, - М. : - Высшая школа, 1990.
- [3] Шуп Т. Е. Решение инженерных задач на ЭВМ, - М. : - Мир, 1982.
- [4] Кошкин Н. И., Ширкевич Н. Г. Справочник по элементарной физике, - М. :- Наука, 1980.
- [5] Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика, - М.: - Наука, 1976, 281 с.

Олександр Деніщук,
Студент фізичного факультету
Львівського університету
ім. І. Франка

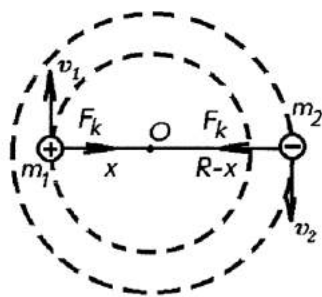
Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики за 1997 р.

(Продовження, поч. див. в № 1, 98 р.)

10 клас

Задача 1.

Так як іони рухаються разом і не розлітаються, то вони мають однакову кутову швидкість ω і обертаються навколо центру мас т. О.



Запишемо 2-й закон Ньютона для кожного іону:

$$m_1 \omega^2 x = F_k = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 R^2},$$

$$m_2 \omega^2 (R - x) = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0 R^2}.$$

Згідно умови:

$$K_1 + K_2 = \frac{3}{2} kT,$$

де

$$K_1 = \frac{1}{2} m_1 \omega^2 x^2, \quad K_2 = \frac{1}{2} m_2 \omega^2 (R - x)^2.$$

Положення центру мас:

$$m_1 x = m_2 (R - x).$$

Тоді

$$R = \frac{e^2}{12 \pi \epsilon_0 kT} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}.$$

Задача 2.

Для кожної лампочки можемо записати:

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1}, \quad P_2 = \frac{U_2^2}{R_2},$$

де

$$R_1 = \rho \frac{4l_1}{\pi d_1^2}, \quad R_2 = \rho \frac{4l_2}{\pi d_2^2}.$$

У стаціонарному режимі настає тепловий баланс, так як лампи вакуумні, то тепло від дробини відводиться тільки випромінюванням. За законом Стефана-Больцмана потужність випромінювання пропорційна площі поверхні (однакові матеріали і температури)

$$P_1 = \alpha S_{\text{вн}} = \alpha \pi d_1 l_1, \quad (1)$$

$$P_2 = \alpha \pi d_2 l_2, \quad (2)$$

але

$$P_1 = \frac{U_1^2 \pi d_1^2}{4 \rho l_1}, \quad (3)$$

$$P_2 = \frac{U_2^2 \pi d_2^2}{4 \rho l_2}. \quad (4)$$

Розв'язавши ці рівняння, отримаємо :

$$d_2 = d_1 \left(\frac{U_1 P_2}{U_2 P_1} \right)^{2/3} \approx 0.13 \text{ мм},$$

$$l_2 = l_1 \left(\frac{P_2 U_2^2}{P_1 U_1^2} \right)^{1/3} \approx 62 \text{ мм}.$$

Задача 3.

Велика краплина володіє енергією :

$$W_1 = mgH + qEH + 4\pi R^2\sigma + W_R ,$$

(де відповідно: енергія краплини в гравітаційному полі, електричному полі, поверхнева енергія, енергія власного електричного поля).

Після розбиття на n краплин :

$$W_2 = nm_1gr + nq_1Er + n \cdot 4\pi r^2\sigma + nW_r + W_{rr}$$

де $nW_r + W_{rr}$ - енергія полів кожної краплини та енергія їх взаємодії.

Але за умовою $W_R = nW_r + W_{rr}$.

Враховуємо, що:

$$m = \frac{4}{3}\pi R^3\rho \quad m_1 = \frac{4}{3}\pi r^3\rho ,$$

де ρ - густина речовини.

$$q = \frac{4}{3}\pi R^3\rho_0 \quad q_1 = \frac{4}{3}\pi r^3\rho_0 ,$$

де ρ_0 - густина заряду.

Згідно закону збереження енергії $W_1 = W_2$

$$\begin{aligned} \frac{4}{3}\pi R^3(\rho g + \rho_0 E)H + 4\pi R^2\sigma &= \\ &= \frac{4}{3}\pi n r^3(\rho g + \rho_0 E)r + 4\pi r^2\sigma \cdot n . \end{aligned}$$

Згідно закону збереження маси:

$$\frac{4}{3}\pi R^3\rho = \frac{4}{3}\pi n r^3\rho \Rightarrow r = \frac{R}{n^{1/3}} .$$

Враховуючи $R \ll H$, знехтуємо членом

$$\frac{4}{3}\pi n r^3(\rho g + \rho_0 E) .$$

Враховавши все, отримаємо:

$$n = \left[1 + \frac{RH(\rho g + \rho_0 E)}{3\sigma} \right]^3 .$$

Задача 4.

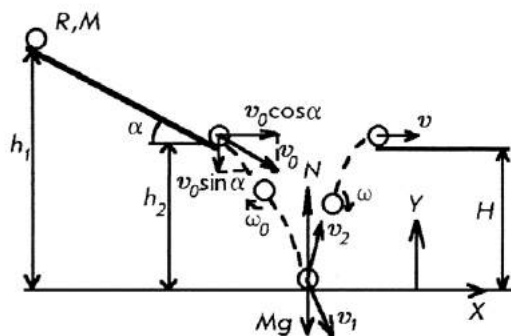
В момент відриву від похилої площини визначимо лінійну v_0 і кутову ω_0 швидкості кульки. Застосовуючи закон збереження енергії (проковзування немає) :

$$Mg(h_1 - h_2) = \frac{Mv_0^2}{2} + \frac{I\omega_0^2}{2} ,$$

$$\left(\text{для кулі } I = \frac{2}{5}MR^2 \right) \Rightarrow$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{10}{7}g(h_1 - h_2)}$$

$$\omega_0 = \frac{v_0}{R} .$$



Перед ударом об горизонтальну площину

$v_{1x} = v_0 \cos \alpha$ (вважаємо $R \ll h_2$).

Із закону збереження енергії маємо :

$$\begin{aligned} Mgh_2 + \frac{Mv_0^2}{2} + \frac{I\omega_0^2}{2} &= \frac{M}{2}(v_{1x}^2 + v_{1y}^2) + \frac{I\omega_0^2}{2} \Rightarrow \\ \Rightarrow v_{1y} &= -\sqrt{2gh_2 + v_0^2 \sin^2 \alpha} . \end{aligned}$$

При ударі об площину. Лінійна швидкість

точки на поверхні кульки (відносно центру)

$v_0 > v_{1x} = v_0 \cos \alpha$ - горизонтальної

швидкості центру кульки. При ударі внаслідок

проковзування виникає сила тертя F_T .

Запишемо закони зміни імпульсу і моменту

імпульсу при ударі.

1-й випадок :

час проковзування $t \leq \tau$ - часу удару,

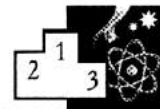
тоді:

$$M(v_{2x} - v_{1x}) = F_T t \quad I(\omega_0 - \omega) = F_T R t ,$$

в кінці удару проковзування немає :

$$\omega = \frac{v_{2x}}{R} \Rightarrow v_{2x} = v_0 \left(\frac{2}{7} + \frac{5}{7} \cos \alpha \right) .$$

У вертикальному напрямі удар пружний, отже $v_{2y} = -v_{1y}$.



Висота підняття кульки (висота полиці):

$$H = \frac{v_{2y}^2}{2g} = h_2 + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = h_2 + \frac{5}{7}(h_1 - h_2) \sin^2 \alpha$$

2-й випадок:

час проковзування $t > \tau$.

Проковзування триває протягом всього часу удару $t = \tau$, тоді:

$$M(v_{2y} - v_{1y}) = N\tau,$$

де N - усереднена сила реакції.

$$M(v_{2x} - v_{1x}) = F_T \tau, \quad I(\omega_0 - \omega') = F_T R \tau,$$

де $F_T = \mu N$.

Оскільки $v_{2y} = -v_{1y}$, то $N\tau = 2Mv_{2y}$.

$$v_{2x} = v_{1x} + 2\mu v_{2y} = v_{1x} - 2\mu v_{1y},$$

$$\omega' = \omega_0 - \frac{2MR}{I} \mu v_{2y} = \frac{v_0}{R} - \frac{5\mu}{R} v_{2y} = \frac{v_0}{R} + \frac{5\mu}{R} v_{1y}$$

$$H = \frac{v_{2y}^2}{2g} = \frac{v_{1y}^2}{2g} = h_2 + \frac{5}{7}(h_1 - h_2) \sin^2 \alpha$$

(як і в першому випадку).

Повинна виконуватись умова проковзування під час удару $\omega'R > v_{2x}$, що накладає умову на параметри похилої площини:

$$(1 - \cos \alpha) > 7\mu \sin \alpha.$$

Якщо ця умова не виконується, то теорія описується 1-им випадком. Кулька сідає на полицю з проковзуванням (бо $\omega'R > v_k$). Для моменту закінчення проковзування маємо

$$M(v - v_{2x}) = F_T t_1,$$

$$I(\omega' - \omega) = F_T R t_1, \text{ причому } \omega = v/R.$$

Звідси

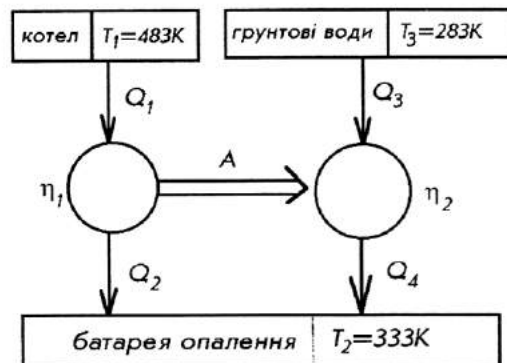
$$v = \frac{2}{7} \omega'R + \frac{5}{7} v_{2x} = \frac{2}{7} v_0 + \frac{5}{7} v_{1x} =$$

$$= \frac{1}{7}(2 + 5 \cos \alpha) \sqrt{\frac{10}{7} g(h_1 - h_2)}$$

(як і в першому випадку).

Задача 5.

Теплова машина має такий вигляд:



Коефіцієнт корисної дії (ККД) цієї машини:

$$\eta = \frac{Q_2 + Q_4}{Q_1}.$$

η_1 - ККД теплового двигуна:

$$\eta_1 = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \Rightarrow Q_2 = (1 - \eta_1)Q_1$$

$$A = Q_1 - Q_2, \quad Q_4 = A + Q_3.$$

η_2 - ККД теплового насоса (холодильної машини):

$$\eta_2 = \frac{Q_4}{A} = \frac{Q_4}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_2 - T_3},$$

$$Q_4 = \eta_2 A = \eta_2 (Q_1 - Q_2) = Q_1 \eta_1 \eta_2,$$

$$\eta = \frac{Q_2 + Q_4}{Q_1} = \frac{(1 - \eta_1)Q_1 + Q_1 \eta_1 \eta_2}{Q_1} = 1 - \eta_1 + \eta_1 \eta_2 =$$

$$= 1 + \frac{T_3(T_1 - T_2)}{T_1(T_2 - T_3)} = 2.76 = 276\%$$

11 клас

Задача 1.

Електростатична сила, що діє на заряд в ланцюжку довжиною l з боку іншого (нескінченно довгого) ланцюжка $F_{el} = \rho l E$,

де $E = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 R}$ - напруженість поля заряд-

женого провідника (циліндр), ρ - лінійна густина зарядів, R - відстань між ланцюж-

ками. Сили магнітної дії (за законом Ампера) на елемент струму:

$$F_{\mu} = \mu_0 l \frac{I \cdot I}{2 \pi R},$$

де сили струму $I = \rho v$, отже:

$$F_{\mu} = \mu_0 l \frac{\rho^2 v^2}{2 \pi R},$$

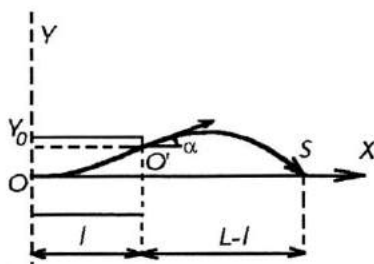
$$\frac{F_e}{F_{\mu}} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0 v^2} = \left(\frac{c}{v}\right)^2 = n^2.$$

Відповідь: $\frac{F_e}{F_{\mu}} = n^2$.

Задача 2.

В електричному полі:

Час прольоту $t = l/v_0$. На момент виходу з електричного поля $v_x = v_0$.



$$v_y = \frac{qE}{m} t = \frac{q}{m} E \frac{l}{v_0}; \quad \cos \alpha = \frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + v_y^2}},$$

оскільки α мале (за умовою), то $v_y \ll v_0$;

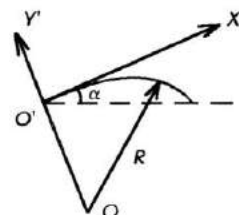
$$x_0 = l; \quad y_0 = \frac{at^2}{2} = \frac{eE}{2m} \left(\frac{l}{v_0}\right)^2; \quad y_0 \ll l.$$

В магнітному полі:

Радіус колової траєкторії

$$\frac{mv^2}{R} = qvB, \quad R = \frac{mv}{qB}.$$

Якщо осі системи координат направлені, як на мал. 2, то рівняння траєкторії має вигляд: $x'^2 + (y' + R)^2 = R^2$, бо центр кола в цій системі координат має координати $(0; -R)$.



Або

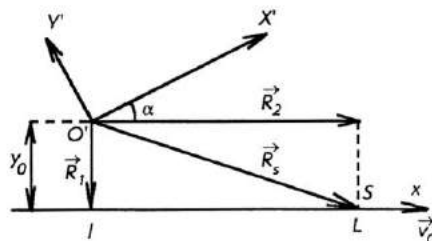
$$x'^2 + y'^2 + 2y'R = 0;$$

$$R = -\frac{x'^2 + y'^2}{2y'} \cong -\frac{x'^2}{2y'},$$

бо відхилення частинки в магнітному полі мале. Отже, координати частинки пов'язані співвідношенням:

$$y' = -\frac{eB}{2mv} x'^2. \quad (1)$$

Знайдемо координати точки перетину траєкторії з напрямом \vec{v}_0 в системі координат $x'O'y'$.



$$\vec{R}_s = \vec{R}_1 + \vec{R}_2; \quad |\vec{R}_1| = y_0; \quad |\vec{R}_2| = L - l$$

$$x'_s = y_0 \cos(90 + \alpha) + (L - l) \cos \alpha = (L - l) \cos \alpha - y_0 \sin \alpha$$

$$y'_s = y_0 \cos(180 + \alpha) + (L - l) \cos(90 + \alpha) = -(L - l) \sin \alpha - y_0 \cos \alpha.$$

Підставляємо в (1) значення x'_s, y'_s і отримуємо рівняння для визначення B .

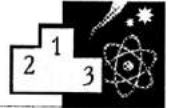
$$[(L - l) \sin \alpha + y_0 \cos \alpha] 2m \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = eB[(L - l) \cos \alpha - y_0 \sin \alpha]^2.$$

Оскільки

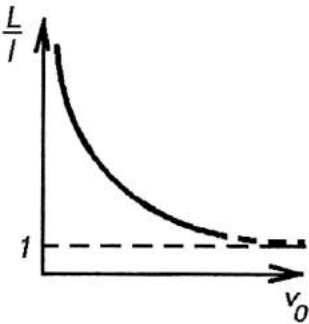
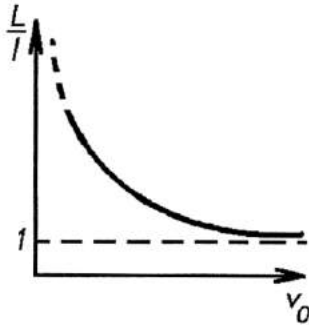
$$v_y \ll v_0; \quad y_0 \sin \alpha \ll (L - l) \cos \alpha,$$

то маємо:

$$\left[(L - l) \frac{e}{m} E \frac{l}{v_0} + \frac{e}{2m} E \frac{l^2}{v_0} \right] 2m v_0^2 = eB v_0^2 (L - l)^2$$



$$B = \frac{2E}{v_0} \frac{l}{L-l} \left[1 + \frac{l}{2(L-l)} \right]. \quad (2)$$



З (2) маємо:

$$\frac{L-l}{l} = \frac{E}{2Bv_0} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4Bv_0}{E}} \right).$$

Для малих E ($E \ll 4Bv_0$): $\frac{L}{l} \cong 1 + \sqrt{\frac{E}{Bv_0}}$

Для малих B ($4Bv_0 \ll E$): $\frac{L}{l} \cong 1 + \frac{E}{Bv_0}$

Задача 3. Див. розв'язок задачі 4 за 10 кл.

Задача 4. Див. розв'язок задачі 5 за 10 кл.

Задача 5.

Рівняння руху стержня :

$$m \frac{dv}{dt} = mg - IBl. \quad (1)$$

Виникаюча при русі ЕРС індукції за величиною дорівнює

$$E = \frac{d\Phi}{dt} = Blv.$$

З другого боку,

$E = L \frac{dI}{dt}$ - ЕРС самоіндукції котушки (омічний опір провідників рівний нулю). Тобто маємо:

$$Blv = L \frac{dI}{dt}. \quad (2)$$

Диференціюємо (1) по часу і використовуємо 2, маємо рівняння

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \frac{B^2 l^2}{mL} v = 0. \quad (3)$$

(3) - рівняння коливань і його розв'язок $v = v_0 \sin \omega t$, тобто швидкість стержня коливається з частотою

$$\omega = \frac{Bl}{\sqrt{mL}}. \quad (3')$$

Поскільки зміна швидкості носить періодичний характер, то її максимальне значення отримується вже протягом першого періоду (через чверть періоду). Нехай стержень, досягаючи максимальної швидкості v_0 , пройшов шлях x_0 . Тоді згідно з закону збереження енергії :

$$mgx_0 = \frac{1}{2} m v_0^2 + \frac{1}{2} L I_0^2, \quad (4)$$

тобто потенціальна енергія стержня перейде в його кінетичну енергію і енергію магнітного поля. При $v = v_0$ із (1) одержимо

$$mg = I_0 Bl, \quad (5)$$

а із (2) маємо:

$$\int_0^{I_0} dI = \frac{Bl}{L} \int_0^{T/4} v dt \quad \text{або} \quad I_0 = \frac{Bl}{L} x_0. \quad (6)$$

Підставляючи з (5), (6) в (4) значення x_0 і I_0 , одержимо:

$$B = g \frac{\sqrt{mL}}{v_0 L}.$$

Матеріали підготував
Володимир Алексейчук

Розв'язки задач II туру Соросівської олімпіади

11 клас

1. Вертикаль.

1. Забігаючи наперед, треба вказати на "підводний камінь", що містить у собі задача. На перший погляд здається, що нитка буде вертикальною, якщо виконується одна з двох умов:

$$\text{або} \quad mg > F_{e \text{ низ}},$$

$$\text{тобто} \quad mg > \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{l^2},$$

$$\text{звідки} \quad m > \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot gl^2} \quad (1)$$

(у рівновазі кулька знизу);

$$\text{або} \quad mg < F_{e \text{ верх}},$$

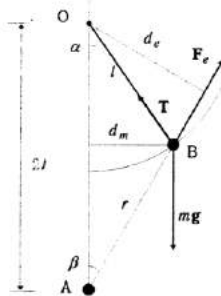
$$\text{тобто} \quad mg < \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{9l^2},$$

$$\text{звідки} \quad m < \frac{1}{9} \cdot \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot gl^2} \quad (2)$$

(у рівновазі кулька зверху).

Але, як буде показано нижче, формули (1) та (2) є помилковими.

2. "Стандартне" розв'язання задачі.



Нехай кулька відхилена так, що нитка утворює кут α з вертикальним напрямом. На неї діють сили тяжіння mg , кулонівська сила F_e та сила натягу нитки T .

Розглядаючи рух кульки як обертання навкруги закріпленої осі O , відмічаємо, що у рівновазі сума моментів усіх діючих на кульку сил відносно точки O дорівнює нулю, тобто

$$mg \cdot d_m = F_e \cdot d_e, \quad (3)$$

де d_e і d_m — відповідно плечі сил Кулона та земного тяжіння.

Як видно з малюнка,

$$\begin{aligned} d_m &= l \cdot \sin \alpha, \\ d_e &= 2l \cdot \sin \beta. \end{aligned} \quad (4)$$

Використовуючи теорему синусів для трикутника OAB , маємо:

$$\sin \beta = \frac{l}{r} \cdot \sin \alpha,$$

звідки

$$d_e = \frac{2l^2 \sin \alpha}{r}. \quad (5)$$

Використовуючи для цього ж трикутника теорему косинусів, одержуємо

$$r^2 = l^2 \cdot (5 - 4 \cos \alpha). \quad (6)$$

Підставивши вирази (4) – (6) у (3) і виразивши F_e за допомогою закону Кулона, одержимо для маси верхньої кульки у рівновазі (маса нижньої кульки не має значення):

$$m = \frac{2}{(5 - 4 \cos \alpha)^{3/2}} \cdot \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot gl^2}. \quad (7)$$

Взявши $\alpha = 0$ (кулька знизу), одержимо з (7)

$$m = 2 \cdot \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot gl^2}$$

Це, строго кажучи, буде положення байдужої рівноваги.

Очевидно, при більших масах положення рівноваги буде таким самим, але це буде стійка рівновага.

Взявши $\alpha = \pi$ (кулька зверху), одержимо з (7)

$$m = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{\pi\epsilon_0 \cdot gl^2}$$

(для байдужої рівноваги). При менших значеннях маси кулька також буде зверху, але рівновага буде стійкою.

Отже, відповідь:

$$m > 2 \cdot \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot gl^2} \quad (8)$$

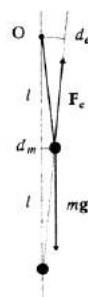
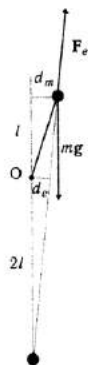
(кулька під точкою підвісу),

$$m < \frac{2}{27} \cdot \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot gl^2} \quad (9)$$

(кулька над точкою підвісу).

Порівнюючи ці результати з формулами (1), (2), бачимо, що очевидний розв'язок не є вірним.

3. Евристичний метод розв'язання задачі (менш строгий, але більш ефектний).



Уявимо собі, що кулька відхилилася від нижнього положення рівноваги на дуже малий кут. Як видно з малюнка, плече сили Кулона вдвічі більше за плече сили тяжіння: $d_e = 2d_m$. Рівновага буде стійкою, якщо при малому відхиленні від неї рівнодіюча сила (або момент сили) намагатиметься повернути систему у початковий стан. Тобто треба, щоб

$$mg \cdot d_m > \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{l^2} \cdot 2d_m$$

звідки безпосередньо одержуємо відповідь (8).

Аналогічно, при нескінченно малому відхиленні від верхнього положення рівноваги, як видно з малюнка, $d_e = 2d_m/3$.

Умова стійкої рівноваги матиме вид

$$mg \cdot d_m < \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{gl^2} \cdot \frac{2d_m}{3}$$

звідки одержуємо відповідь (9).

2. Прожектор.

Для подвоєння зображення необхідно, щоб проекція швидкості плями на напрям до спостерігача перевищувала швидкість світла c . Звідси легко дістати умову:

$$\omega > c / (R \cos \varphi) \quad (1)$$

Отримаємо це більш строго. Нехай t' - момент випромінювання світлового сигналу від плями у точці $r_s(t')$, що його приймає спостерігач у точці r в момент t . Тоді

$$c(t - t') = |r - r_s(t')| \approx r - nr_n(t') = r - R \cos(\varphi) \cos(\omega t')$$

або

$$c\tau = r - R \cos(\varphi) \cos[\omega(t - \tau)],$$

де $\tau = t - t'$. (2)

Розв'язки (2) відносно τ відповідають зображенням плями, що бачить спостерігач. Порівняємо нахил прямої, що відповідає лівій частині цього рівняння, як функції від τ , з нахилом синусоїди в правій частині. Максимальний тангенс нахилу синусоїди $R\omega \cos(\varphi)$ має бути більше за c , щоб пряма перетинала синусоїду принаймні двічі (інакше рівняння (2) матиме лише один корінь). Звідси випливає (1). Легко бачити, що за умови (1) можна підібрати таке положення прямої та синусоїди, тобто параметри r і t в (2), щоб перетинів було більше одного.

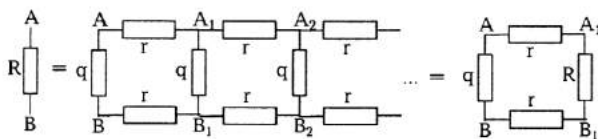
3. Електричне коло.

З симетрії кола видно, що потенціали у точках C_i будуть однакові і струм між ними не тече. Відкинемо дроти, що їх з'єднують, і замінимо послідовно та паралельно з'єднані дроти між точками A_i і B_i на дроти з опором $q = 2r/3$. Позначимо шуканий опір кола літерою R . Застосуємо стандартний метод пошуку опору нескінченного кола і зробимо зображені на малюнку перетворення кола, за допомогою яких складемо рівняння для R :

$$3R^2 + 6rR - 4r^2 = 0,$$

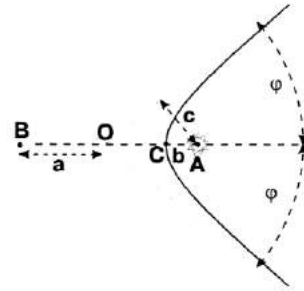
додатній розв'язок якого дає

$$R = (\sqrt{7/3} - 1)r \approx 0,528r.$$



4. Не та гіпербола.

На рисунку показано шлях корабля. Він визначається його швидкістю на нескінченній відстані від зірки u , прицільною відстанню c та масою зірки M . При розрахунку курсу використовувалося значення маси M_0 , насправді вона є $M_1 = 10M_0$. Далі всі літери з індексом 0 відносяться до розрахованого курсу, а з індексом 1 до фактичного.



Корабель рухається за гіперболою з фокусами у точках A і B , у т. A знаходиться центр зірки. У т. C корабель знаходиться на мінімальній відстані від зірки. Позначимо відстані $AB = 2a$, $AC = b$, а кут відхилення $\theta = \pi - 2\varphi$. Звідси $c = a \sin \varphi$. Різниця відстаней до т. A та т. B є сталою величиною на всій гіперболі. Порівнявши її значення у т. C і у нескінченно віддаленій точці, отримуємо співвідношення $2(a - b) = 2a \cos \varphi$, звідки $b = a(1 - \cos \varphi)$. Якщо швидкість корабля у т. C є v , то із законів збереження енергії та моменту імпульсу маємо:

$$v^2 = u^2 + 2MG/b,$$

$$v = uc/b = ua \sin \varphi / b = u \sin \varphi / (1 - \cos \varphi).$$

Звідси $\text{ctg} \varphi = MG/u^2 c$. Запланований курс мав кут відхилення $\theta_0 = 10^\circ$, тобто $\varphi_0 = 85^\circ$, але

$$\text{ctg} \varphi_1 = (M_1/M_0) \text{ctg} \varphi_0 = 10 \text{ctg} \varphi_0.$$

Це дає $\varphi_1 = 48,8^\circ$ і кут відхилення $\theta_1 = 82,4^\circ$.



Мінімальна відстань пов'язана з прицільною відстанню співвідношенням

$$b = c(1 - \cos \varphi) / \sin \varphi .$$

Звідси,

$$b_1 = b_0 \frac{1 - \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1} \cdot \frac{\sin \varphi_0}{1 - \cos \varphi_0} = \\ = 24,8 \text{ млн. км}$$

5. Максимальний струм.

Після замикання ключа починається зарядка конденсатора. Струм, що йде крізь нього, затухає з часом по експоненті. Тому струм I_1 буде максимальним після зарядження конденсатору. Він дорівнюватиме $E/(3R + r)$. Струм I_2 буде максимальним відразу після замикання ключа, коли він дорівнюватиме $E/(2R + r)$.

6. Тягарець.

Виберемо декартові координати з центром посередині між цвяхами, так, щоб вони були на осі абсцис, вісь ординат напрямимо горизонтально, вісь аплікат — вертикально. Можливі положення тягарця — множина точок, сума відстаней від яких до цвяхів дорівнює D :

$$\left\{ (x - L/2)^2 + z^2 + y^2 \right\}^{1/2} + \\ + \left\{ (x + L/2)^2 + z^2 + y^2 \right\}^{1/2} = D$$

Звідси,

$$x^2/a^2 + (y^2 + z^2)/b^2 = 1,$$

$$a = D/2, \quad b = (D^2 - L^2)^{1/2}/2 ,$$

а для малих коливань біля положення рівноваги

$$z \approx b \left\{ 1 - x^2/(2a^2) - y^2/(2b^2) \right\} .$$

Потенціальна енергія тягарця (з точністю до несуттєвих констант) є

$$U = C_1 - mgz \approx C_2 + \\ + mgb \left\{ x^2/(2a^2) + y^2/(2b^2) \right\} .$$

Звідси маємо сили, що повертають тягарець у положення рівноваги, незалежно по осях абсцис та ординат,

$$F_x = -mgbx/a^2, \quad F_y = -mgy/b$$

та рівняння руху:

$$d^2x/dt^2 + \omega_x^2 x = 0, \quad d^2y/dt^2 + \omega_y^2 y = 0;$$

де $\omega_x^2 = gb/a^2$, $\omega_y^2 = g/b$.

Для частинного випадку коливань тільки вздовж нитки звідси маємо період $T_x = 1,3$ с, а для коливань поперек, без проковзування по нитці — $T_y = 0,78$ с.

У загальному випадку коливань вздовж обох осей маємо відношення $T_x/T_y = a/b = 5/3$. Загальний період T дорівнює найменшому спільному кратному від $(T_x, T_y) = 5T_y = 0,78$ с.

Розв'язки задач теоретичного туру Соросівської олімпіади

(Продовження, умови задач див. в № 1, 98 р.)

10 клас

1. Інформація до роздуму.

В момент стрибка Штірліц повинен мати такий самий вектор швидкості, що і Мюллер, тобто його швидкість дорівнює 20 м/с та спрямована горизонтально.

2. В одне речення.

Так як $\Delta Q = 0$, то $A = \Delta U = \Delta U_{\text{Ар}} + \Delta U_0$.

Згадуючи, що аргон — одноатомний, а кисень — двоатомний газ, маємо:

$$\Delta U_{\text{Ар}} = \frac{3}{2} \nu_{\text{Ар}} R \Delta T, \quad \Delta U_0 = \frac{5}{2} \nu_0 R \Delta T.$$

В початковий момент часу

$$P_0 V_0 = (\nu_{\text{Ар}} + \nu_0) R T_0.$$

Оскільки маси газів у суміші рівні, то

$$\nu_{\text{Ар}} M_{\text{Ар}} = \nu_0 M_0,$$

звідки $\nu_{\text{Ар}} = \frac{4}{5} \nu_0$.

У сукупності з попереднім рівнянням це дасть:

$$\nu_0 = \frac{5 P_0 V_0}{9 R T_0}, \quad \nu_{\text{Ар}} = \frac{4 P_0 V_0}{9 R T_0}.$$

Таким чином,

$$A = \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{4}{9} + \frac{5}{2} \cdot \frac{5}{9} \right) \frac{P_0 V_0 R \Delta T}{R T_0} = \frac{37}{18} (k-1) P_0 V_0.$$

3. Похилий жолоб.

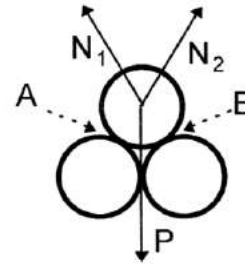
Для розв'язку задачі треба врахувати три обставини, а саме:

а) кулька може проковзувати або не проковзувати;

б) сила нормального тиску з боку жолоба буде складатися з двох сил N_1, N_2 , з якими діють трубки (див. мал.), і максимальна сила тертя дорівнюватиме

$$F_T^{\text{max}} = 2mg \cos \alpha / (3)^{1/2},$$

де m — маса кульки;



в) миттєва вісь обертання кульки при русі без проковзування проходить через точки дотику з трубками, які позначено на малюнку літерами А і В, тому її лінійна і кутова швидкість пов'язані співвідношенням $v = \omega r (3)^{1/2} / 2$, де r - радіус кульки.

Якщо кулька не проковзує, то з закону збереження енергії маємо

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} = mgh \rightarrow v = (5/7gh)^{1/2}.$$

Якщо кулька проковзує, то її прискорення вздовж жолоба дорівнює

$$a = g \sin \alpha - F_T^{\text{max}} / m = g \left(\sin \alpha - 2m \cos \alpha / (3)^{1/2} \right),$$

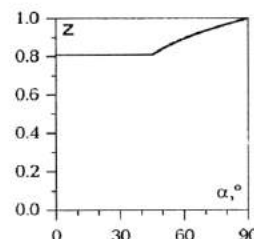
звідки

$$z = \sqrt{1 - 2ctg \alpha / \sqrt{3}}.$$

Проконзування починається при кутах нахилу $\alpha > \alpha_0$, де

$$\alpha_0 = \arctg \left(23m / 4(3)^{1/2} \right) \gg \arctg(3,32m).$$

На графіку намальована залежність $z(\alpha)$ при $m = 0,3$.



4. Газова математика.

З малюнка видно (див. в умові задачі), що залежності $P(V)$ лінійні, тобто $P = kV + l$:

на ділянці AD — $k = 1, l = -a$;

на ділянці DB — $k = -1, l = 5a$;

на ділянці AC — $k = -1, l = 3a$;

на ділянці CB — $k = 1, l = a$.

Тоді для $T(V)$, з урахуванням $PV = \nu RT$ та розмірності коефіцієнту k , маємо:

$$\text{на ділянці AD} \quad T = \frac{V^2 - aV}{\nu R};$$

$$\text{на ділянці DB} \quad T = \frac{-V^2 + 5aV}{\nu R};$$

$$\text{на ділянці AC} \quad T = \frac{-V^2 + 3aV}{\nu R};$$

$$\text{на ділянці CB} \quad T = \frac{V^2 + aV}{\nu R}.$$

Максимальні значення температури на ділянках AC та BD визначимо, прирівнявши до нуля відповідні похідні:

$$T_{\max_{AC}} = \frac{9}{4} \cdot \frac{ab}{\nu R}, \quad T_{\max_{BD}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{ab}{\nu R}.$$

Обчислимо роботу газу на ділянці ACB:

$$A_{ACB} = A_{AC} + A_{CB} = -\frac{3}{2}ab + \frac{5}{2}ab = ab.$$

Аналогічно для ділянки ADB:

$$A_{ADB} = A_{AD} + A_{DB} = \frac{3}{2}ab - \frac{5}{2}ab = -ab.$$

Отже бачимо, що

$$A_{ACB} > A_{ADC}.$$

5. Надсвітлові швидкості.

Нехай ділянка струменя рухається з швидкістю під кутом α до променя зору. Розглянемо світловий сигнал від цієї ділянки, що приймається спостерігачем у момент t . Тоді момент випромінення t' цього сигналу ділянкою пов'язаний з t рівнянням

$$t - t' = (D - Vt' \cos \alpha) / c.$$

Звідси

$$t' = (t - D/c) / (1 - V \cos \alpha / c).$$

Проекція координати ділянки на площину, перпендикулярну до променя зору, є

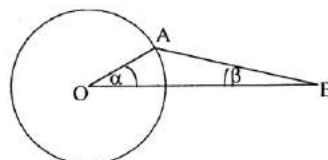
$$\begin{aligned} X &= Vt' \sin \alpha = \\ &= V(t - D/c) / (1 - V \cos \alpha / c) \sin \alpha. \end{aligned}$$

Звідси швидкість, що сприймається спостерігачем, як швидкість ділянки у момент t , є

$$dX/dt = V \sin \alpha / (1 - V \cos \alpha / c). \quad (1)$$

Максимальне значення цієї величини при зміні кута α легко обчислити за допомогою дослідження похідної. Однак, ми наведемо обчислення (запропоноване С.Парновським), що не потребує вищої математики.

На малюнку O - центр кола радіуса R ; нехай $OB = L$.



Опускаючи перпендикуляр з A на OB легко отримати

$$\operatorname{tg} \beta = R \sin \alpha / (L - R \cos \alpha). \quad (2)$$

Коли точка A рухається вздовж кола, максимальне значення кута β і, відповідно, $\operatorname{tg} \beta$ при зміні кута α досягається, коли AB є дотичною. В цьому разі $\cos \alpha = L/R$, що й дає максимум виразу (2).

Співставляючи (2) з (1), маємо

$$\cos \alpha = V/c,$$

при цьому максимальне значення (1) є

$$V \{1 - V^2/c^2\}^{-1/2}.$$

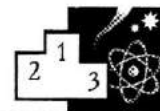
Згідно з умовою, воно дорівнює $2c$.

Розв'язуючи рівняння відносно швидкості, маємо $V/c = 2/\sqrt{5}$ - мінімальне значення, за якого фіктивна швидкість може бути вдвічі більша за c .

11 клас

1. Обережно з вогнем!

Освітленість паперу є відношенням світлового потоку, що проходить скрізь лінзу до площі зображення Сонця. У наближенні геометричної оптики обидві ці величини



змінюються обернено пропорційно квадрату відстані до Сонця і їх відношення не залежить від цієї відстані. Це наближення виконується тоді, коли кутові розміри Сонця значно перевищують кут розходження променів після дифракції на отворі лупи

$$\delta\varphi = 1,22\lambda/D \approx 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ рад.}$$

На Землі кутовий розмір Сонця становить $\varphi = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ рад} \approx 700\delta\varphi$.

Таким чином, наближення геометричної оптики виконується до відстаней до 700 а. о., тобто добре виконується навіть для Плутона. Це означає, що для всіх перелічених планет можна запалити папір сонячними променями. Для α Центавра площа зображення Сонця цілком визначається дифракцією і папір запалити неможливо.

2. Позитрон.

Всередині металу існує вертикальне електричне поле, яке не дає електронам падати у полі тяжіння Землі. Його величина знаходиться з умови рівності сил, що діють на електрон у електричному і гравітаційному полях $Ee = m_e g$. Таке саме поле буде і всередині отвору. Під дією електричного і гравітаційного полів позитрон буде падати вниз з прискоренням $2g$.

3. Резонансна частота.

Результат можна досягти багатьма шляхами, наприклад застосувавши векторні діаграми. Наведемо спосіб, який базується на комплексному імпедансі. На резонансній частоті комплексний опір котушки буде дорівнювати $r = i\omega L = i(L/c)^{1/2}$, а опір конденсатора $(-r)$. Загальний опір (імпеданс) кола буде

$$r - rR/(R - r) = -r^2/(R - r).$$

Струм через резистор буде

$$I = \left[-U(R - r)/r^2 \right] \cdot \left[-r/(R - r) \right] = U/r,$$

тобто не залежатиме від R . Цей стабілізатор струму запропонував у 1920 р. Карл Штейнмец.

4. Свічка та дріт.

Є декілька способів розв'язку. Можна використати рівняння теплопровідності (див. розв'язок задачі 4 другого теоретичного туру) або міркування розмірності. Величина a може залежати тільки від коефіцієнту теплопровідності κ , коефіцієнту у законі Ньютона λ та радіуса дроту r , причому коефіцієнт теплопровідності може входити тільки у комбінації κr^2 , а коефіцієнт у законі Ньютона у комбінації λr . Радіус дроту теж входить тільки у вище згадані добутки. Звідси з розмірності отримуємо:

$$\alpha = F(\kappa r^2, \lambda r) \propto [\kappa r^2]^{1/2} [\lambda r]^{-1/2} \propto r^{1/2}.$$

При збільшенні товщини дроту вдвічі a збільшиться у $\sqrt{2}$ разів.

5. Юпітер та Калісто.

Простіший спосіб полягає в тому, що треба здогадатися, що Юпітер неможливо спостерігати тоді, коли він ховається за Сонцем. Порівнюючи початки періодів, коли у таблиці стоять крапки, можна виявити, що це відбувається приблизно через 13 місяців. Взявши 10 таких періодів між 1987 р. та 1998 р., отримуємо найбільш точне значення $13,10 \pm 0,05$ міс. Знаючи це і період обертання Землі навколо Сонця, знайдемо період обертання Юпітера навколо Сонця $T_{Ю} = 11,9 \pm 0,5$ років. З законів Кеплера маємо:

$$r_{Ю} = r_3(T_{Ю}/T_3)^{2/3} \approx 5,2 \text{ а. о.}$$

Це дуже точна оцінка, оскільки середня відстань між Юпітером та Сонцем дорівнює 5,203 а.о. Можна також побудувати графік залежності інтервалу між двома сполученнями від часу. Він нагадує синусоїду, трохи зсунуту відносно осі абсцис. Період цієї залежності (його можна визначити навіть з меншою похибкою) використаємо для одержання періоду обертання Юпітера та відстані між ним та Сонцем. Амплітуду для максимуму або мінімуму легко пов'язати з відстанню до Юпітера, але отримане таким чином значення буде набагато менш точним через еліптичність орбіт.



Невідомий Гулак

Мирослав Кратко, докт. фіз.-мат. наук, професор,
Сергій Полетило, канд. пед. наук,
Волинський державний університет ім. Лесі Українки

Ім'я Миколи Гулака називають разом з іменами Т. Шевченка, П. Куліша, М. Костомарова, коли заходить мова про Кирило-Мефодіївське братство. Він був ініціатором і одним з ідеологів цієї першої української політичної партії яка ставила метою скасування кріпацтва і створення незалежної української держави. За участь у братстві його було покарано трьома роками ув'язнення у Шлісельбурзькій фортеці і засланням у Перм. Про долю М. Гулака після відбуття ним покарання згадують рідко. Коротко повідомляють, що був він викладачем гімназії, публікував праці з історії, філології, математики. Але нині ці праці важко знайти навіть у найбільших бібліотеках, тому Гулак, як науковець, майже невідомий сучасному читачеві.

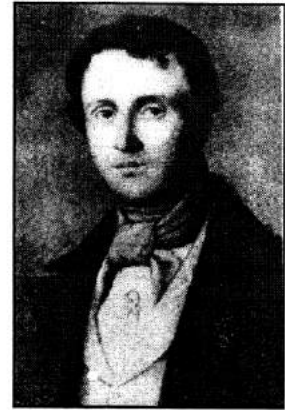
Микола Іванович Гулак народився в 1821 р. у Варшаві, де його батько служив військовим інтендантом. Походив із старовинного козацького роду, його далекий предок І. Гулак був генеральним обозним у гетьмана П. Дорошенка, а нащадки цього І. Гулака — козацькими полковниками і сотниками. Освіту Микола Гулак здобув у Дерптському (нині Тартуський) університеті. Закінчив юридичний факультет і, після захисту дисертації, одержав звання кандидата юридичних наук. У 1844 р. переїхав у Київ, де близько сходиться з М. Костомаровим, П. Кулішом, Т. Шевченком та іншими, які й об'єдналися у таємне політично-просвітницьке товариство Кирило-Мефодіївське братство. Проіснувало братство всього один рік. На початку 1847 р. його членів було заарештовано і першим з них М. Гулака, якого царські жандарми вважали головним організатором братства. Всі учасники події свідчать, що під час слідства наймузніше тримався М. Гулак. Він не вказав нікого з членів братства, всі звинувачення жандармів проти інших членів братства брав на себе, за що й одержав чи не найсуворіше покарання. Час проведений у тюрмі і на засланні М. Гулак використовував для поглиблення своїх знань, зокрема вивчав математику.

Вернувшись із заслання, він у 1859 р. опублікував французькою мовою свою працю "Дослідження трансцендентних рівнянь", яка, за свідченнями сучасників, одержала схвальний відгук від Паризької Академії наук. Невдовзі по тому "автора вченої праці з математики" запросили на посаду ад'юнкт-професора чистої математики у Рішельєвському ліцеї (Одеса), який мав статус університету. Але працює він там всього два роки, бо вважали небажаним мати викладачем колишнього політв'язня, який до того ж, як було відомо, не відмовився від своїх переконань. Гулака переводять спочатку у Крим, а потім на Кавказ.

Найдовше, понад 20 років, М. І. Гулак працював у Тифлісі, викладачем Першої Тифліської гімназії. Серед його учнів був М. С. Грушевський, який згадує, що М. Гулак викладав у них грецьку і латинську мови. До речі, М. Гулак знав понад 15 мов. Свою кандидатську дисертацію він написав німецькою мовою, книжку про трансцендентні рівняння написав французькою, перекладав з англійської, перської, азербайджанської, а про грузинську мову навіть опублікував наукові дослідження. Тифліський період є найпліднішим у науковій і публіцистичній діяльності Гулака. Тут він публікує свою другу математичну книгу "Спроба геометрії у чотирьох вимірах" і пише ще ряд математичних праць (на жаль, більшість з них втрачено) або лишилися в рукописах.

Викладач гімназії М. Гулак, як бачимо, не обмежується своїми прямими обов'язками. Він бачить своє призначення у широкому розповсюдженні знань, часто виступає з публіцистичними лекціями, публікує статті про наукові новини у місцевій пресі. Вражає різнобічність тематики лекцій і публікацій Гулака: "Про мікроби", "Пісня про Нібелунгів", "Система Кант-Лапласа", "Спектральний аналіз", "Філософія Шопенгауера", "Теперішній розвиток елек троники і її майбутнє", "Саліцилова кислота", "Про поему Ш. Руставелі "Барсова шкура", "Про народну поезію тюркських народів", "Про знаменитого перського поета Нізамі", "Планета Марс та її супутники" тощо.

Помер М. Гулак у 1899 р. в м. Гянджа (Азербайджан).





Гарячий лід

— Гарячий лід? — здивовано скаже читач. — Та це ж така сама нісенітниця як квадратове коло або дерев'яне залізо!

І все-таки ось п. Томас Карнелій (Carnelly) твердить, що йому вдалося нагріти лід до температури вище 100°C , тобто вище нормальної точки кипіння води. Недавно він докладно доповідав про це на засіданні Королівського Товариства Дослідників Природи (Proceedings of the Royal Society, 31, p. 284). Щоб краще зрозуміти дослід п. Карнелія, не завадить дати певні попередні пояснення.

Відомо, що при нормальному атмосферному тиску, який вимірюється ртутним стовпом заввишки 760 міліметрів (біля 30 дюймів), вода кипить при 100°C . Якщо ж тиск зменшити, наприклад, піднятися на високу гору, то вода кипітиме при нижчій температурі. На цьому ґрунтується, до речі, так зване гіпсометричне вимірювання, тобто вимірювання висот за встановленням точки кипіння. Так якщо піднятися на висоту 7000 футів, наприклад, на перевал на Воєнно-Грузинській дорозі, то там вода вже кипітиме при температурі 93°C . І, навпаки, якщо збільшити тиск до кількох атмосфер, наприклад, у паніновому горщику, то можна довести воду до температури 400°C і вище не перетворюючи її у пару, причому ця вода набуває нових, цілком інших хемічних властивостей.

Виходячи з цього явища, склали таблицю як падає пружність пари при різних значеннях температури. Побачили, наприклад, що при температурі топлення снігу, тобто при температурі 0°C , пружність пари вимірюється ртутним стовпом заввишки 5 міліметрів, тобто при 0°C вода кипітиме, якщо атмосферний

тиск є меншим за тиск ртутного стовпа заввишки 5 мм. Отже, якщо ми покладемо у закриту посудину кусок льоду і будемо постійно підтримувати у верхній частині посудини тиск нижчий за 5 мм, то при нагріванні нижньої частини посудини, лід поступово зникатиме без слідів води, тому що вода, яка при цьому мала б з'явитися, відразу переходить у пару. Це явище справді спостерігав п. Карнелій у своєму досліді.

Він штучним способом заморозив воду у товстостінній скляній посудині, у верхній частині якої підтримував тиск від 2 мм до 1 мм. Потім він почав нагрівати стінки посудини пальником до температури 180°C . При цьому він зауважив, що якби не розігрівав він стінки посудини, лід не вдавалося б розтопити: лід лишився твердим, повільно випаровуючись, як це робить камфора, але не переходив у воду.

Це цікаве явище є першою частиною досліді. Більш дивним є таке: швидко витрусивши лід з посудини і схопивши його пальцями, він сильно попівся. Температура куска льоду перевищувала, за його приблизними підрахунками, 120°C . Отже можна сказати, що лід має такі ж властивості, що й вода, але у зворотньому напрямі, а саме, при збільшенні зовнішнього тиску точка топлення льоду опускається нижче температури 0°C (див., наприклад, Тиндаль, "Альпийські ледники", переклад Рачинського, с. 274); навпаки, при зменшенні зовнішнього тиску, точка плавлення льоду піднімається вище 0°C , так що при певному низькому тиску можна нагріти кусок льоду навіть до температури 120°C , не переводячи його у рідкий стан. Виявляється, що ми повинні переглянути наш звичний погляд на лід і на те, що з льодом нерозривно

пов'язують поняття холоду. Виявляється, що кусок заліза і кусок кристалічної води, тобто льоду, мають у цьому відношенні однакові властивості: обидва тверді тіла можуть за даних умов температури і тиску здаватися нам і холодними, і теплими, і, навіть гарячими; вся різниця полягає у тому, що в межах атмосферного тиску, потрібного нашому організмові для життя, точка плавлення заліза є достатньо високою, а точка плавлення льоду — низькою.

Досліди п. Карнелія ще далеко не закінчено, але вже й тепер можна передбачити деякі факти, ще не перевірені на практиці, але які пізніше неодмінно підтвердяться, наприклад:

1) при даному тиску не можна буде підняти температуру льоду вище певної межі, наприклад, при тиску 760 мм — вище 0°C .

2) на високих горах, наприклад, на вершинах Монблана і Казбека, сніг і лід під дією сонячного тепла, мабуть, набувають температури вищої за 0°C , не перетворюючись у воду, очевидно, дане явище може впливати на остаточні метеорологічні результати, пов'язані з топленням снігів і льоду у горах.

**Микола Гулак,
1881 р.**

(Переклад з російської)

Коментар редакції:

Наведені в статті результати не узгоджуються з сучасними даними про фазову рівновагу води. Очевидно, в піонерських роботах, присвячених даній проблемі, були суттєві прорахунки. Допитливий читач може зрозуміти це, вивчивши діаграму стану води.

Зустріч через чверть століття



На фізичному факультеті Львівського державного університету завжди підтримувалася чудова традиція — проведення зустрічей випускників. У такі радісні для них дні знаходяться місця у найкращих аудиторіях, а схвильовані викладачі зацікавлено вдивляються до своїх колишніх студентів, котрих впізнати важко.

Ось і зустрілись випускники фізичного факультету 1971 року, які відзначили 25 річницю закінчення університету. Зібралось їх багато, і чимало приїхали не зблизька, але всі з радістю стверджували, що зустріч вдалася. Звичайно, були і спогади, і привітання від керівництва факультету. Це також було і є доброю традицією.

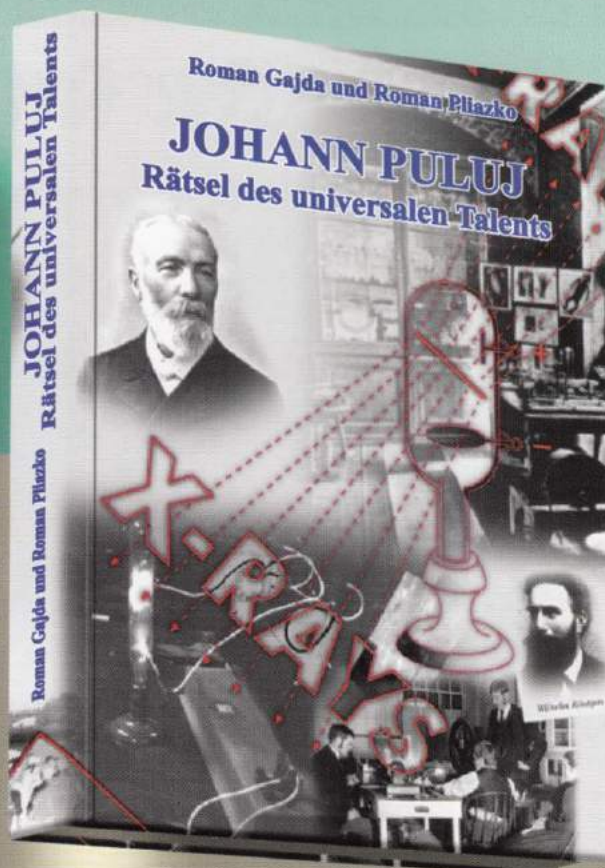
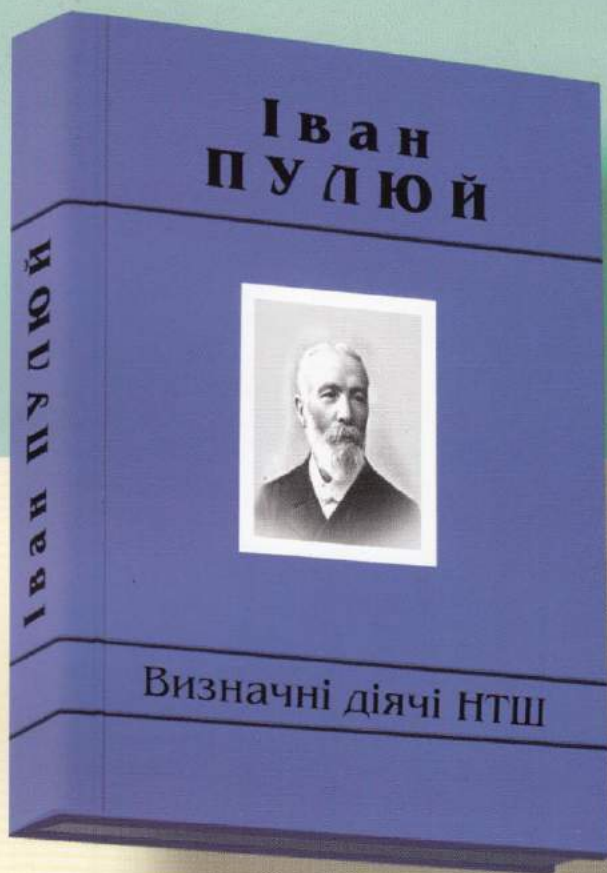
На цій світлинці всі вони — колишні хлопці і дівчата, теоретики і експериментатори, а нині — інженери, вчителі, вчені, домогосподарки, директори значних підприємств і установ, — одночасно немов би і опираються на стіни рідного факультету, і підпирають їх.

Досягнуто вагомих успіхів у науково-педагогічній діяльності — стали докторами фізико-математичних наук: В. Груба, А. Пилявський, С. Мудрий, Є. Чапля. Керівниками в науковій, педагогічній та виробничій сферах є В. Гончарук, П. Костробій, І. Кульчицький, В. Пелих, І. Пешко, Ю. Соломка, А. Торський, Є. Чорний та інші. Продовжують працювати на кафедрах фізичного факультету: О. Антоняк, В. Васильців, Б. Кужель, М. Матвіїв, Л. Морозов, О. Хричкова. Особливої шани заслуговують випускники, які у важкий економічний час, продовжують працювати в школах, викладають фізику, віддаючи сповна своє серце та здобуті знання теперішньому поколінню. Це — Л. Малиш, О. Конопацька, І. Деревацький, І. Личак, О. Тимовчак та інші.

Перед випускниками 1971 р. виступили проф. М. О. Романюк, доц. Я. М. Захарко, проф. Л. А. Синицький, Ю. Л. Данилюк. З великою теплотою та повагою згадувався той період навчання, коли деканом факультету був Михайло Теодорович Сеньків, наш вчитель та наставник.

Проте, завжди залишається головне — світле бажання зустрітись зі своєю юністю, та з тими, хто, об'єднаний шляхетним прагненням служити Фізиці, ішов поруч в цей найкращий час людського життя.

Книга, яка зацікавить кожного



Цього року напередодні 125-річного ювілею Наукового товариства ім. Т. Шевченка у серії “Визначні діячі НТШ” виходить з друку книга Р. Гайди і Р. Пляцка “Іван Пулюй”. Це буде перша поважна монографія про життя і творчість великого українського вченого і патріота, подвижника рідної культури, одного з авторів українського перекладу Біблії, інженера та винахідника, класика фізичної науки Івана Пулюя. Вже декілька років на неї чекають науковці, студенти і вчителі, широка громадськість. Чекають і не розчаруються. Наукова ерудиція, виняткова відповідальність і сумлінність авторів, опрацювання ними величезного архівного, епістолярного та меморіального матеріалу (спогади, світлини, документи), що їх протягом десятків літ збирав професор Р. Гайда, спілкування з нащадками І. Пулюя, особисте відвідання ним і уважний перегляд музейних експонатів у Відні та Празі, аналіз наукового доробку, зрештою, організаційна праця на відзначення 150-річчя вченого, участь у пам’ятних імпрезах — все це дозволило авторам наче ужитися в “епоху Пулюя” і відчутти на своїх плечах тягар колосального матеріалу, що його належало опрацювати.

Книга Р. Гайди і Р. Пляцка “Іван Пулюй” започатковує свою долю. Вона витримає іспит часу. Немає сумніву, що про таку особистість як Іван Пулюй з плином часу з’являться й інші книги, у тому числі популярні, художньо-публіцистичні. Та книга Р. Гайди і Р. Пляцка — перша. Фактологічний матеріал цієї монографії слугуватиме базою для майбутніх авторів. Спираючись на неї, письменники писатимуть і художню версію біографії Івана Пулюя.

На прохання д-ра Петера Пулюя, внука Івана Пулюя, а також багатьох вчених з Австрії та Німеччини, книга виходить з друку також німецькою мовою “Іван Пулюй — загадка універсального таланту” у видавництві “Євросвіт”.

Перечитайте книгу “Іван Пулюй”. Вона спонукатиме кожного задуматись над долею української науки, перейняти вірою у її гарне майбутнє.

Віриться мені, що вдячні читачі добрим словом спінуть її автора професора Романа Гайдю та зберігатимуть про нього світлу пам’ять.

Ярослав ДОВГИЙ

Попередні замовлення на книгу, зауваження і пропозиції можна надсилати у видавництво “Євросвіт” та книгарню НТШ.

З питань придбання книги звертатись за адресою:
Видавництво “Євросвіт”, вул. Дудаєва, 15, 290005, м. Львів, Україна.

Телефон для довідок: (0322) 72-37-04.