

С В І Т

ФІЗИКА

№2'99

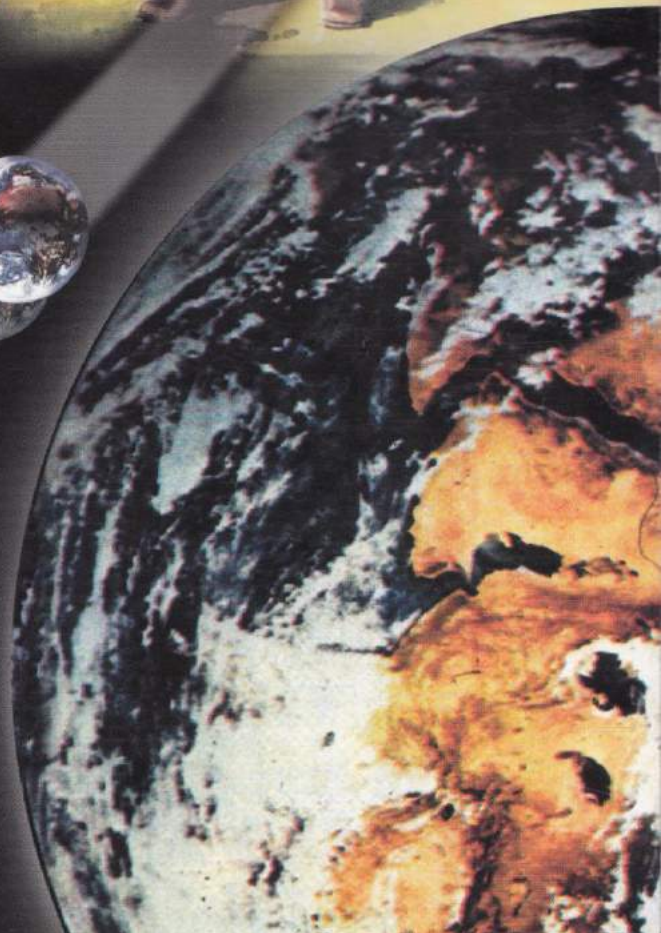
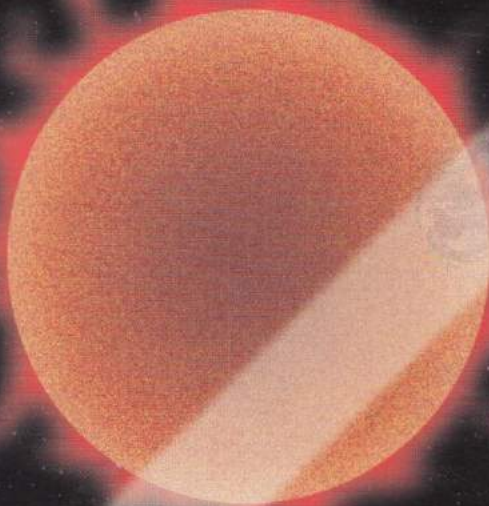
науково-популярний журнал

*Президент України у Львівському
державному університеті*



*Якщо я і бачив далі за інших, то лише
тому, що я стояв на плечах гігантів*

Ісаак Ньютон





ПРЕЗИДЕНТ УКРАЇНИ У ЛЬВІВСЬКОМУ ДЕРЖАВНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Напередодні зустрічі президентів країн Центральної Європи Президент України Леонід Данилович Кучма відвідав Львівський державний університет імені Івана Франка. Під час перебування Президента України в найстарішому університеті нашої держави Ректор Іван Вакарчук вручив Леонідові Кучмі диплом Почесного Доктора Львівського державного університету імені Івана Франка.

Під час вручення диплому Ректор університету Іван Олександрович Вакарчук сказав:

“Високоповажний пане Президенте, вельмишановні колеги, дорогі студенти, шановні пані і панове!

Ми сердечно вітаємо Вас, Леоніде Даниловичу від більш як сотисячної громади студентів, від імені багатьох тисяч викладачів, усіх освітян Львівщини, тут на Львівській землі, в нашому університеті — найстарішому університеті нашої держави і бажаємо Вам доброго перебування на Львівщині, бажаємо, щоб саміт президентів країн Центральної Європи був успішним і його рішення служили добру і всім людям.

Вельмишановний пане Президенте, я маю високу честь від імені 21-тисячного колективу Львівського державного університету імені Івана Франка вручити Вам диплом Почесного Доктора нашого університету за особливі заслуги у розбудові української держави. Присвоєння Вам звання Почесного Доктора нашого університету є свідченням глибокого усвідомлення Вашої ролі як президента нашої молодшої держави, Вашого заслуженого міжнародного авторитету, Ваших зусиль на підтримку миру і розв'язання міжнародних конфліктів. Сподіваюсь, що надання Вам звання Почесного Доктора Львівського державного університету імені Івана Франка засвідчує те усвідомлення взаємної нашої відповідальності за майбутнє нашої держави, за майбутнє покоління, адже історичний досвід європейських університетів свідчить про те, що саме в університеті виховується молоде покоління, саме тут народжуються і генеруються потужні нові ідеї...”

У своєму виступі перед викладачами і студентами Львівського державного університету імені Івана Франка Президент України Леонід Данилович Кучма сказав:

“Дорогі друзі, вельмишановні професори, викладачі, студенти, шановні члени Вченої Ради, вельмишановний Іване Олександровичу!

Насамперед дозвольте від щирого серця подякувати Вченій Раді за присвоєння мені високого звання Почесного доктора Вашого університету. Для мене це висока честь, обов'язок і відповідальність перед Вами і перед Україною. Як казав колись великий учений Пирогов, що університет був і є, і завжди буде барометром у суспільстві. Якщо цей барометр показує щось не те, якщо комусь щось не подобається, то це ні в якому разі не означає, що його треба розбити. Так, я сьогодні вважаю, що все-таки Ваш університетський барометр показує правильно!

Те, що президентові присвоєно звання Почесного доктора свідчить, що президент добре тримає руку на політичній погоді України. Я тільки так це можеу розуміти...

Я хотів би звернутись до Вас із головною думкою про те, що завжди, за будь-яких обставин, оцінюючи сьогоднішні Україну треба виходити із об'єктивного аналізу всіх процесів, які відбувалися і відбуваються в Україні...”

(Львів, 13 травня 1999 року)



Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180
від 06.11.1997 р.

Засновники:
Львівський держуніверситет
імені Івана Франка,
Львівський фіз.-мат. ліцей,
СП "Євросвіт"

Передплатний індекс 22577

Головний редактор
Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:
Олександр Гальчинський,
Галина Шопа

Редакційна колегія:

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

Художник **Володимир Гавло**
Літературний редактор
Мирослава Прихода
Комп'ютерний набір і верстка
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:

редакція журналу "Світ фізики"
вул. Саксаганського, 1,
290005 м. Львів,
Україна

тел./факс 380 0322 72 68 11,
sf@ktf.franko.lviv.ua

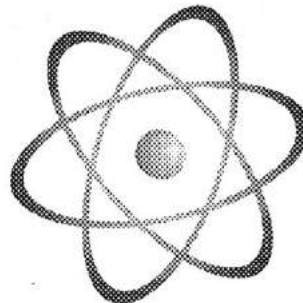
Найстарішим університетам в Україні — статус національних!

Під час підсумкового засідання колегії Міністерства освіти України, яке відбулося 16-17 березня у м. Харкові, ректори Львівського державного університету імені Івана Франка професор Іван Вакарчук та Харківського державного університету професор Віль Бакіров від імені рад ректорів вищих навчальних закладів регіонів звернулись з листами до Президента України Леоніда Кучми, у яких обґрунтували необхідність надання статусу національних Львівському та Харківському університетам.

У них, зокрема, зазначено, що обидві вищі школи є найстарішими в Україні, вони внесли значний вклад у розвиток освіти, науки, культури, у відновлення та розбудову української державності.

Упродовж багатьох років у різних соціально-політичних умовах вони однаково наполегливо і послідовно плекали наукові школи, об'єднуючи найзнаменитіших учених і педагогів, готували висококваліфікованих фахівців.

Найкращі представники Львівського і Харківського університетів зробили вагомий внесок у розвиток європейської цивілізації.



Редколегія

© СП "Євросвіт"

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

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища з фізики

Криводубський Валерій. Загадки сонячного магнетизму

3

2. Фізика світу

Вакарчук Іван. Ісаак Ньютон та його система Світу

11

3. Актуальні проблеми...

Яцків Ярослав та ін. Про концепцію викладання астрономії в середній школі України

17

4. Нобелівські лауреати

Довгий Ярослав. Відкриття високотемпературної надпровідності

21

5. Олімпіади, турніри...

Теоретичні завдання обласної олімпіади з фізики школярів Львівщини 1999 р.
Вибрані задачі відкритої фізико-математичної олімпіади Рішельєвського ліцею (м. Одеса)

26

28

6. Шпаргалка абітурієнта

Волошин Ліля. Нескінченний ланцюжок

31

7. Творчість юних

VII Всеукраїнський турнір юних фізиків
Невідомський Андрій. Незвичайний маятник

35

36

8. Розв'язки задач

Всеукраїнська олімпіада з фізики (1998)

41

9. Інформація

46

10. Реальність та фантастика

Важка вода

47

11. Гумор

48



ЗАГАДКИ СОНЯЧНОГО МАГНЕТИЗМУ

Валерій Криводубський

провідний науковий співробітник
Астрономічної обсерваторії
Київського Національного університету
ім. Тараса Шевченка

Магнітне поле Сонця щороку задає ученим нові загадки. Квазіперіодичні коливання активності Сонця з характерним періодом майже 11 років, сонячні плями, спалахи, протуберанці, корональні діри — ось лише деякі з проявів активних процесів на Сонці, зумовлених магнітним полем. Магнітні поля можуть як охолоджувати плазму Сонця (наприклад, у сонячній плямі), так і нагрівати (у верхній хромосфері і короні над тими областями, де магнітне поле спливає на поверхню). Сонячні спалахи, енергія яких акумулюється у магнітних полях, спричинюють потужні викиди швидких електронів і протонів у міжпланетний простір, що створює істотну загрозу для діяльності людини в космосі. Магнітні процеси на Сонці викликають збурення сонячного вітру, що веде до значних варіацій космічних променів поблизу Землі. Магнетизм Сонця відповідальний також за радіаційні пояси, полярні сяйва і магнітні бурі — явища, які виникають внаслідок взаємодії сонячного вітру з магнітним полем Землі. Детальне розуміння механізмів сонячної активності і шляхів її впливу на процеси, що відбуваються в навколоземному просторі і на Землі, дасть нам змогу не лише прогнозувати періоди її підвищення, але й зменшити шкідливі наслідки цього впливу на життєдіяльність людей. Оскільки Сонце є типовою зорею, то усвідомлення суті явищ, пов'язаних із сонячною магнітною активністю, допоможе якісно зрозуміти процеси, що відбуваються у переважній більшості інших зірок Всесвіту.

Сонце — жовта, невеликого розміру зоря віком майже 5 млрд. років. Температура плазми на видимій сонячній поверхні, яка називається фотосферою, становить майже 6000 К. Під фотосферою знаходиться конвективна зона завтовшки приблизно 200 тис. км,

нижче від конвективної зони — зона променистого переносу енергії, а ще глибше — ядро розміром майже 0.25 радіуса Сонця, де при температурах майже 15 млн. градусів відбуваються термоядерні реакції. Хоча наше денне світило є типово спокійною зорею, це зовсім не означає, що з ним взагалі не відбувається ніяких змін. Просто ці зміни малі порівняно з тими, які характерні для змінних зір. Ще задовго до появи телескопів люди знали, що за певних обставин на Сонці можна побачити неозброєним оком темні плями. Тепер нам відомо, що то були сонячні плями — відносно темні утворення на видимому диску Сонця з характерним часом існування від кількох годин до кількох місяців. Вони є найдоступніші для спостережень ознакою слабкої і вельми своєрідної мінливості Сонця, що впливає на всі аспекти життя на Землі. Після того, як на Сонці було виявлено магнітні поля, стало зрозуміло, що всі явища сонячної активності тісно пов'язані з магнетизмом плазми.

Як виникають магнітні поля у космічній плазмі?

Магнітні поля стали цілком звичним явищем у лабораторіях і навіть у побуті, їх властивості добре відомі, ними легко керувати. Проте в астрономічних масштабах магнітне поле набуває незвичних властивостей. Магнетизм сонячної речовини виникає під впливом факторів, відмінних від земних магнітів. На Землі найсильніші прояви магнетизму звичайно визначаються орієнтацією магнітних моментів атомів і елементарних часток (електронів, протонів і нейтронів), які входять до складу сильномагнітних (магнітоупорядкованих) речовин. На Сонці якої-небудь помітної магнітної впорядкованості не виявляється, оскільки плазма не належить до сильномагнітних



речовин, тому там магнітні поля породжуються електричними струмами в сонячній плазмі.

В умовах високої електропровідності плазми магнітні силові лінії виявляються ніби приклеєними до часток рухомої плазми. Під час рухів замагніченої плазми збуджуються струми, магнітні поля яких, складаючись з початковим полем, змінюють його так, що магнітні силові лінії ніби зміщуються разом із плазмою. Це наближення отримало назву "вмороженості" магнітного поля в рухоме ідеально провідне середовище. Явище вмороженості, яке відкрив шведський астрофізик Х. Альфен, стало основою для вивчення багатьох магнітогідродинамічних процесів у космічній плазмі. Надзвичайно важливо, що в результаті ядерних і гравітаційних сил в космічних об'єктах виділяється енергія, яка викликає турбулентні рухи іонізованого газу. Магнітні поля в умовах вмороженості захоплюються цими рухами і (розтягуючись і згинаючись) здобувають додаткову енергію. Тобто турбулентні потоки плазми діють подібно до динамо-машини із самозбудженням. Принцип такої машини в лабораторних умовах розробив ще 1866 р. відомий німецький фізик, електротехнік і винахідник Вернер фон Сіменс для перетворення механічної енергії у магнітну енергію. *Здатність магнітних полів підживлюватися потоками енергії, що йдуть із надр космічних об'єктів, пояснює наявність магнетизму всередині і навколо майже всіх небесних тіл, у тому числі і Сонця.* Слід однак пам'ятати, що для здійснення динамо-процесу потрібне хоча б невелике зародкове магнітне поле або слабкий початковий струм. Крім того, розглядаючи механізми збудження космічного магнетизму, треба враховувати втрати полів, зумовлені їх своєрідною "плавучістю", яку відкрив професор Чиказького університету Ю. Паркер. Замагнічені об'єкти плазми в гравітаційному полі стають легшими, ніж плазма, яка їх оточує. Тому сильні магнітні поля здатні значно швидше, ніж через омичну дисипацію, ослаблюватися і покидати космічні тіла внаслідок магнітної плавучості.

Сонячний цикл і глобальне магнітне поле Сонця

На початках вивчення сонячної активності обмежувалось вивченням сонячних плям. Вперше факт зміни кількості плям з часом зафіксував 1843 р. після 17 років спостережень німецький астроном-аматор Г. Швабе. Для характеристики сонячних плям, які переважно з'являються групами, швейцарський астроном із Цюриха Р. Вольф 1848 р. увів параметр, який тепер називають числом Вольфа (W). Цей параметр характеризує число груп плям і структуру кожної з них. За даними астрономічних спостережень, з 1749 р. Вольф визначив середню тривалість періоду зміни числа сонячних плям. Згідно з законом Швабе-Вольфа зміна сонячної активності відбувається з періодом майже 11 років. Під час максимальної фази активності одночасно на диску можна спостерігати 20 і більше груп плям, тоді як у фазі мінімуму плями можуть бути відсутніми протягом кількох тижнів.

Але 11-річний цикл виявляється не тільки в зміні частоти появи плям. Ще 1859 р. англійський дослідник Сонця Р. Керрінгтон звернув увагу на те, що групи сонячних плям з'являються не по всьому диску, а тільки у так званих "королівських зонах", розміщених на відстані приблизно до 40° обабіч сонячного екватора. На початку циклу плями переважно з'являються на середніх широтах, а пізніше на все нижчих і нижчих широтах, наближаючись до екватора. Пізніше німецький учений Г. Шперер переконливо довів, що середню протяжність 11-річного циклу можна визначити значно точніше за змінами широти груп плям з часом, ніж за варіаціями чисел W . Широтний дрейф до екватора (закон Шперера) добре помітний на діаграмі розподілу плям за широтами як функції часу. За прізвиськом ученого, який вперше побудував цю діаграму, вона отримала назву діаграми "метеликів" Маундера (рис. 1).

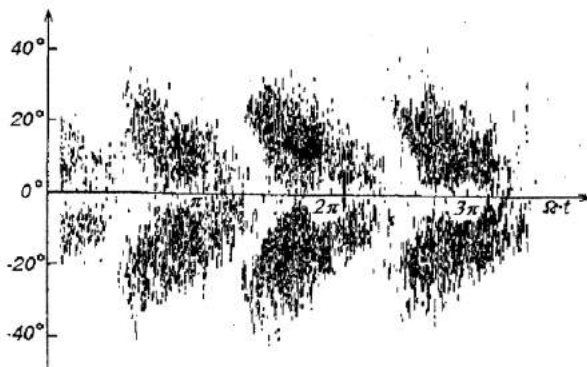


Рис. 1. Діаграма “метелики” Маундера відповідно до спостережень з 1874 до 1913 р., що показує область існування сонячних плям залежно від геліографічної широти (вісь ординат) і фази сонячного циклу Ωt

Вимірювання магнітного поля проводять на основі реєстрації розщеплення спектральних ліній відомих хімічних елементів (ефект Зеемана). Для цієї спектральної лінії, це розщеплення є тим більшим, чим сильніше магнітне поле. У 1908 р. американському геліофізику Дж. Хейлу за зесманівським розщепленням спектральних ліній вдалося виміряти величину магнітної індукції у сонячних плямах. Це було перше відкриття позаземного магнетизму. Пляма подібна до охолодженої і скутої магнітним полем ями у сонячній фотосфері. За межами сонячних плям температура плазми становить майже 6000 К, тоді як у самих плямах — на 1500-2000 К нижче. В умовах вмороженості сильні магнітні поля у плямах (1500-4000 Гс) пригнічують конвективні рухи плазми, які переносять енергію догори із глибоких гарячих шарів. Саме тому сонячна пляма охолоджується і за контрастом з гарячою фотосферою здається нам темною. Найчастіше плями з'являються у вигляді витягнутих уздовж паралелей біполярних груп, які складаються з двох великих плям протилежної магнітної полярності та великої кількості дрібних плям між ними. Значно рідше у “королівських зонах” трапляються уніполярні магнітні області (УМО), які ха-

рактеризуються однією переважаючою полярністю, оскільки інша настільки слабка, що її не можливо зафіксувати. У місцях з відкритими конфігураціями УМО формуються корональні діри — протяжні області в сонячній короні з дуже низькою густиною і температурою, які служать джерелом швидкісних потоків плазми в сонячному вітрі. У гарячих шарах корони відбувається постійне радіальне витікання плазми в міжпланетний простір, що за влучним висловлюванням Паркера, який 1958 р. теоретично обґрунтував це явище, отримало назву “сонячний вітер”. Незалежно від Паркера і навіть трохи раніше (у 1957 р.) впритул до розуміння природи динамічної корони підійшов аспірант кафедри астрономії Київського університету Євген Пономарьов. Однак, пріоритет відкриття дістався Юджіну Паркеру.

Протягом тривалого часу під час спектроскопічних спостережень вдавалося реєструвати *тільки сильні* магнітні поля. Ситуація суттєво змінилася після того, як американський астрофізик Х. Бебкок 1952 р. винайшов сонячний магнітограф — спеціального фотоелектричного приладу для систематичного картографування *слабких* магнітних полів на сонячній поверхні. Спостереження з магнітографом показують, що не тільки сонячні плями і УМО є носіями магнетизму на Сонці. Магнітні поля, хоча і слабкі, поширюються майже по всій сонячній поверхні. В активних областях Сонця зосереджено часом кілька десятків магнітних утворень різної полярності.

Аналіз магнітографічних вимірювань свідчить, що топологія магнітного поля Сонця при детальних спостереженнях характеризується досить розвинутою тонкою структурою, яка, мабуть, значною мірою відображає суть сонячного магнетизму. Однак, не завжди вдається помітити якусь впорядкованість чи закономірність. Водночас при магнітографічних вимірюваннях з усередненням за великими просторовими і часовими масштабами в структурі магнітних полів проявляються закономірності, характерні для сонячного циклу. Згідно з сучасними



теоретичними уявленнями на Сонці можна виділити осесиметричне гладеньке великомасштабне магнітне поле, яке складається із двох компонент: сильнішого тороїдального (азимутального) поля V_T , спрямованого вздовж паралелей Сонця і зосередженого обабіч екватора в основному на середніх та низьких широтах, та слабкого полоїдального (меридіонального) поля V_P , витягнутого вздовж меридіанів і розташованого головним чином в полярних областях.

Під час спостережень ми бачимо лише спричинені магнітною плавучістю випадкові локальні опуклості тороїдального поля, що проявляються на сонячній поверхні у вигляді біполярних груп плям. Тороїдальне поле Сонця доступне для спостережень лише в такій обмеженій формі. Потужне магнітне поле з'являється спочатку поблизу широти $35-40^\circ$, протягом приблизно 11 років дрейфує до менших широт і поблизу екватора, послаблене проникненням протилежного поля з іншої півкулі, зменшується і зникає. Після цього на середніх широтах знову з'являється потужне поле, яке вже протилежного знака, так що повний період зміни тороїдального поля становить 22 роки. Отже, зрозуміло, що діаграма "метеликів" Маундера відображає місця концентрації тороїдального магнітного поля під фотосферою і визначає швидкість його міграції до екватора.

Полоїдальне поле у чистому вигляді доступне для магнітографічних спостережень у навколополярних областях вище від широти 55° . Максимальна індукція полоїдального поля оцінюється величиною 5-10 Гс. Навколополярне поле також змінюється з періодом приблизно 22 роки, досягаючи максимальних значень в періоди мінімумів активності плям та індукції тороїдального поля, і змінює знак приблизно під час максимуму сонячних плям. Магнітний цикл зміни полоїдального поля можна прослідкувати також за змінами корональної активності та активності високоширотних протуберанців.

Отже, закономірності магнітної активності Сонця свідчать, що, попри яскраво виражені сильні випадкові ефекти в еволюції магнітних полів, полоїдальне і тороїдальне поля Сонця пов'язані одне з одним, і, очевидно, генеруються одним механізмом, а основу сонячної циклічності становить 22-річний магнітний цикл.

Теорія космічного динамо

Проблему космічного динамо, суть якої полягає у тому, щоби знайти конкретні типи рухів, які приводять до підсилення як завгодно малого первісного поля, сформулював Дж. Лармор ще 1919 р. у знаменитому "короткому повідомленні", присвяченому питанню про походження магнітного поля Сонця. З часом було встановлено винятково важливу роль у збудженні магнітних полів турбулентних (випадкових) рухів. Оскільки спостережувані рухи на сонячній поверхні і конвекція у підфотосферних шарах мають надзвичайно нерегулярний характер, слід звернутися до турбулентних механізмів генерації полів. Роль "динамо-машини" у цьому випадку відіграє сонячна конвективна зона (СКЗ) — підфотосферний шар, товщиною близько чвертини радіуса, в якому перенесення теплової енергії до поверхні відбувається завдяки турбулентним конвективним рухам плазми. Анізотропія турбулентності конвективних зон викликає диференціальне обертання зір і Сонця (тобто таке обертання, коли різні шари небесного тіла мають різну кутову швидкість), яке зумовлює генерацію тороїдального поля із полоїдального. Каменем спотикання для дослідників тривалий час залишалася проблема, як відтворити вихідне полоїдальне поле. У 1955 р. Ю. Паркер (той самий, який відкрив магнітну плавучість і сонячний вітер) запропонував механізм генерації полоїдального поля внаслідок ефекту індукції "циклонічної" турбулентності [1]. Під впливом обертання турбулентні рухи в СКЗ зоні стають циклонічними. Ці рухи, піднімаючи і повертаючи силові лінії ази-



мутального магнітного поля, деформують їх у спіралі. На кожному витку такої спіралі силові лінії мають невелику меридіональну складову. Коли витки розпливаються і зливаються з сусідніми, вони створюють глобальну меридіональну циркуляцію поля, яка і сприймається як полоїдальне поле. Отже, після Паркера стало зрозуміло, що для підсилення магнітного поля особливо ефективна комбінація неоднорідного обертання і циклонічної конвекції, які виникають природним шляхом у конвективних зонах небесних тіл, що обертаються.

Ідею Паркера математично обґрунтували німецькі теоретики М. Штеєнбек, Ф. Краузе і К.-Х. Редлер, які на основі магнітогідродинаміки усередненого магнітного поля (УМП), яку вони розробили, створили теорію турбулентного динамо [2].

Основний результат цієї теорії полягає у тому, що турбулентність за певних умов здатна збуджувати якісно нову усереднену ("турбулентну") електрорушійну силу (ЕРС), паралельну напрямку УМП. *Можливість появи електрорушійної сили, паралельної магнітному полю у турбулентному середовищі, суперечить звичним поняттям класичної електродинаміки, коли індукована рухами ЕРС завжди перпендикулярна до магнітного поля.* Тому виникнення такої турбулентної ЕРС Штеєнбек і Краузе назвали "α-ефектом". Попри свою довільність, цей термін досить міцно укоренився, а сам α-ефект є суттю усієї сучасної теорії турбулентного динамо. Умова появи α-ефекту полягає в тому, щоб турбулентні рухи характеризувалися на великих відстанях усередненою спіральністю (гвинтовістю). Спіральність певного знака виникає природно у турбулентному середовищі, яке обертається, якщо є градієнт густини речовини або градієнт середньоквадратичної турбулентної швидкості. За досить інтенсивної спіральності α-ефект збуджує магнітні поля, які можуть протистояти омичним втратам, відкриваючи, прямий шлях до пояснення походження космічних магнітних полів (рис. 2).

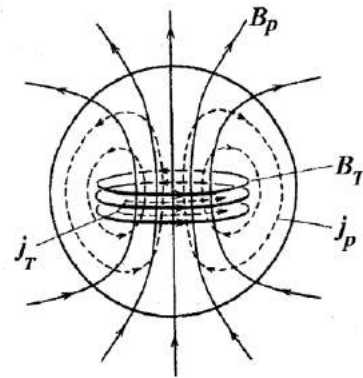


Рис. 2. *Можлива конфігурація глобального магнітного поля, яке в два етапи самопідтримується спіральною турбулентністю в провідному середовищі. Внаслідок α-ефекту поле B_T створює тороїдальний струм j_T . Цей струм спричинює полоїдальне магнітне поле B_P , яке, в свою чергу, створює полоїдальний струм j_P , що супроводжується тороїдальним магнітним полем B_T .*

Генерація глобального магнітного поля Сонця

Тороїдальне поле B_T у принципі створити дуже просто. Внаслідок радіального диференційного обертання силові лінії полоїдального поля B_P у глибоких шарах СКЗ у умовах вмороженості витягуються уздовж паралелей по обидва боки від екватора, перетворюючись в тороїдальне поле у "королівських зонах". Після досягнення певної стадії розвитку воно спливає на поверхню Сонця, утворюючи активні області і біполярні групи плям. Відносно згинання магнітних силових ліній відбувається швидше на вищих широтах, ніж на нижчих, і тому сонячні плями з'являються спочатку саме там. Розрив силових трубок внаслідок утворення сонячних плям зупиняє підсилення поля на відповідній широті. Однак підсилення продовжується на нижчих широтах, тому пояс сонячних плям мігрує до екватора. Так пояснюється одна із загадок сонячного магнетизму — концентрація "метеликів" Маундера у "королівській зоні" і сповзання з часом областей сильного магнітного поля від середніх широт до екватора.



Найважливішою ланкою у теорії турбулентного динамо є зворотний зв'язок тороїдального поля з полоїдальним — генерація осесиметричного меридіонального поля. І саме α -ефект дає змогу здійснити цей зворотній зв'язок і досить просто замкнути сонячний динамо-цикл, оскільки усереднена турбулентна спіральність може генерувати великомасштабний тороїдальний струм із усередненого тороїдального магнітного поля, збуджуючи усереднене магнітне поле протилежного напрямку стосовно вихідного полоїдального поля.

Механізм генерації, в якому головну роль в збудженні магнітних полів відіграють усереднена турбулентна спіральність (α -ефект) і неоднорідне обертання (W -ефект), називається " αW -динамо". Магнітне поле відносно тонкої СКЗ втрачається занадто швидко, тому радіальний градієнт кутової швидкості не встигає одночасно спричинити великомасштабне розтягування силових ліній по всьому колу конвективної зони в широтному напрямку. Відповідно збуджуване поле має *осцилюючий*, а не стаціонарний, як на Землі, характер.

Отже, у рамках механізму " αW -динамо" якісно вимальовується картина циклічності сонячного магнетизму. Слід лише отримати узгоджені з спостереженнями період осциляцій і величини магнітної індукції глобальних полів.

Тривалість сонячного циклу і період динамо-хвилі

Згідно з Паркером розв'язок рівнянь динамо, які описують еволюцію тороїдального і полоїдального полів, можна подати як зміщення магнітних динамо-хвиль від середніх широт до екватора [1]. Величина періоду T динамо-хвиль, який зумовлює тривалість сонячного циклу, визначається інтенсивностями спіральної турбулентності α і радіального градієнта кутової швидкості $\partial W/\partial r$ в СКЗ:

$$T = 2\pi / \sqrt{\frac{1}{2} \sin \theta \left| \alpha \frac{\partial W}{\partial r} \right|} \quad (1)$$

(θ - широта). Однак період динамо-хвилі майже рік, як розраховували чимало дослідників виявляється значно коротший від тривалості сонячного циклу. Як видно із (1) малі величини T у розрахунках можуть бути зумовлені використанням завищених значень параметрів α і $\partial W/\partial r$. Тому для узгодження оцінок T зі спостереженнями слід шукати причини зменшення цих параметрів. Урахування самоіндукції у збудженні поля α -ефектом дає значно менші значення параметра спіральності α ніж ті, що використовувались раніше (магнітне пригнічення або так званий альфа-квенчінг). Що ж стосується параметра $\partial W/\partial r$, то в останні роки з'явився такий потужний інструмент вивчення диференціального обертання у надрах СКЗ, як геліосейсмологічні дослідження. *Геліосейсмологія* — розділ геліофізики, в якому вивчається внутрішня будова Сонця на основі спостережених даних про спектр коливань його поверхневих шарів. Згідно з новітніми геліосейсмічними вимірюваннями радіальний градієнт кутової швидкості характеризується значно меншими величинами порівняно з більш ранніми його оцінками. Skorиставшись розрахунками альфа-квенчінга і здобутими із геліосейсмічних вимірювань значеннями $\partial W/\partial r$, ми отримали оцінку періоду динамо-хвиль у нижній частині СКЗ майже 9 років, що *задовільно узгоджується* зі спостережною тривалістю сонячного циклу [3].

Турбулентний діаманетизм — проти магнітної плавучості

Внаслідок магнітного спливання важко утримувати сильне поле в глибоких конвективних шарах протягом часу, співмірного з тривалістю сонячного циклу, що приводить до обмеження на величину індукції збуджуваного тороїдального поля. Проблему можна розв'язати, враховуючи діаманетизм турбулізованої плазми, фізичний зміст якого полягає у витісненні УМП з областей з підвищеною інтенсивністю пульсацій у місця з менше розвиненою турбулентністю уздовж



градієнта турбулентної в'язкості $\nabla \nu_T$ з ефективною швидкістю $V_\mu = -\nabla \nu_T/2$. Внаслідок неоднорідності турбулентної конвекції у радіальному напрямку сонячна плазма набуває діаманітних властивостей, що виявляється у перенесенні магнітного поля вздовж радіуса. У нижній частині СКЗ турбулентний діаманетизм діє проти магнітної плавучості, що сприяє концентрації магнітних силових трубок на межі СКЗ з променистою зоною. За нашими оцінками найсприятливішою для турбулентного динамо є область поблизу дна СКЗ, де завдяки турбулентному діаманетизму протягом тривалого часу (порівняного з протяжністю циклу) можуть утримуватися сильні (3000-4000 Гс) тороїдальні поля [4].

“Батарейні” ефекти зародження магнетизму та первісне магнітне поле

Як уже було зауважено, динамо-процеси не породжують магнітні поля, вони лише сприяють їх відтворенню, тобто підсилению тих полів, які вже існують. Звідки ж у такому разі беруться початкові магнітні поля, які потім підсилюються динамо-механізмом? Одну із можливостей зародження затравних магнітних полів дають “батареїні” ефекти, на які вперше звернули увагу А. Шлютер і Л. Бірман [5]. Суть явища полягає у виникненні вихрової ЕРС та пов'язаного з нею електричного струму, коли, наприклад, не збігаються поверхні постійних електронного тиску та електронної концентрації.

Серед альтернативних напрямів пояснення сонячного магнітного циклу варто виділити модель на основі осцилюючого первісного (реліктового) магнітного поля, яку запропонував австралійський астрофізик Дж. Піддінгтон [6]. Обернення знака тороїдальних полів під час переходу від одного 11-річного циклу до іншого у моделі Піддінгтона відбувається завдяки меридіональним коливанням первісного квазідипольного магнітного поля постійного знака. Однак залишається без пояснень механізм цих коливань.

Для зір у принципі може бути придатною гіпотеза залишкового магнітного поля, згідно з якою спостережене магнітне поле є “окам'янілим” залишком того міжзоряного поля, яке дісталось зорі під час її народження завдяки конденсації газової хмари. Якщо у процесі стискання магнітний потік був в замороженним у цю хмару, то оцінки показують, що індукція може збільшитися від 10^{-6} до 10^8 Гс. Це може скласти чималий запас магнітної індукції на дисипацію протягом життя зорі. Однак, не зрозуміло, чи придатна ця гіпотеза для зір з масою не більше сонячної, оскільки у процесі своєї еволюції вони проходять через так звану стадію Хаяші (стадію повного конвективного перемішування речовини зорі), під час якої конвекція може вивести магнітне поле із зорі. Поки не з'ясується, чи проходило в минулому Сонце стадію Хаяші, не можна виключити можливість існування у променистому (неконвективному) ядрі захопленого і незареєстрованого первісного поля з магнітною індукцією близько мільйона Гаусс. До речі, якби вдалося підтвердити існування таких сильних полів, то це мало б важливе значення для розв'язання проблеми сонячних нейтрино. Як відомо, стандартні моделі Сонця дають потік енергічних нейтрино приблизно втричі вищий спостережуваного значення в експериментах Девіса з хлорним детектором. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано понад десяток гіпотез, серед них і магнітна. Суть останньої полягає у тому, що якщо потужні магнітні поля поблизу сонячного ядра зменшують газовий тиск і температуру плазми, то це веде до зменшення потоку нейтрино під час термоядерних реакцій.

“Цеглинки сонячного магнетизму”

Спостереження з високою просторовою роздільною здатністю свідчать, що сонячні магнітні поля характеризуються сукупністю дискретних магнітних елементів (силових трубок) з майже малим поперечним розміром (майже сотні кілометрів) та майже такою ж сильною, як у плямах, індукцією. У нез-



буреній фотосфері у проміжках між цими дискретними силовими трубками, мабуть, знаходиться практично немагнітна плазма або ж деяке слабке фонове поле, тоді як у плямах силові трубки мають бути дуже щільно притиснуті одна до одної. Феномен магнітної тонкоструктурності заслуговує на особливу увагу, оскільки розуміння природи маломасштабних полів — своєрідних “цеглинок магнетизму”, з яких складається будівля глобального магнітного поля, сприятиме накресленню загальної картини сонячного магнетизму. Для отримання надійних характеристик тонкоструктурних елементів (розмірів, величин магнітної індукції, часу еволюції) необхідно перейти до спостережень із Космосу, де можна досягти значно кращого просторового розділення, ніж в умовах нестабільної земної атмосфери. Відповідний науковий експеримент визначення маломасштабного магнетизму запланували українські геліофізиками на міжнародній космічній станції “Альфа”.

Хтозна чи пощастить людству в найближчому майбутньому досліджувати у лабораторних умовах магнітні поля за інтенсивністю та масштабами хоча б приблизно зрівнянні з тими, які спостерігаються на Сон-

ці. Саме тому ми повинні розцінювати Сонце як найбільшу лабораторію, яку ми безкоштовно отримали від природи, і від того, наскільки повно ми зрозуміємо фізику процесів у ній, залежатиме глибина нашого усвідомлення ролі магнітного поля в еволюції Всесвіту.

1. *Parker E.N.* Hydromagnetic dynamo models // *Astrophys. Journ.* 1955. Vol. 122. P. 293-314.

2. *Краузе Ф., Рэдлер К.-Х.* Магнитная гидродинамика средних полей и теория динамо. М., 1984. 320 с.

3. *Криводубский В.Н.* Вращательная анизотропия и магнитное подавление гиротропной турбулентности в конвективной зоне Солнца // *Астрон. журн.* 1998. Т.75, №1. С.139-143. *Криводубський В.Н.* Період сонячного динамо-циклу // *Вісник Київ. ун-ту. Астрономія.* 1998. № 35.

4. *Криводубский В.Н.* *Астрон. журн.* 1984. Т. 61, № 2. С. 354-365; *Криводубский В.Н.* Письма в *Астрон. журн.* 1987. Т.13, №9. С.803-810.

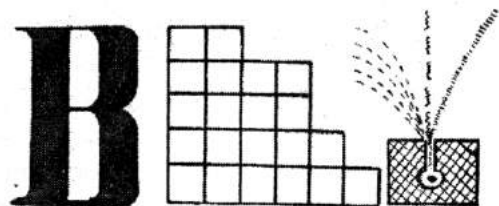
5. *Schlüter A., Biermann L.* Interstellare Magnetfelder // *Zeits. Naturf.* 1950. Bd. 5a. S. 237-251.

6. *Пиддингтон Дж. Г.* Солнечные магнитные поля и конвекция. Обзор теории первичного поля // *Проблемы солнечной активности* (ред. *В. Бумба и И. Клечек*). М., 1979. С. 173-202.

У журналі “Світ фізики” № 1(5), 1999 р. опублікована стаття О.Біланюка “На обрїях фізики”. Коли журнал був у друці від автора надійшло повідомлення, про те, що на цю ж тему можна додатково прочитати у книзі *Brian R. Greene. “The Elegant Universe: Superstrings, hidden dimensions, and the quest for the Ultimate Theory”.* W. W. Norton, New York, 1999.

У незаповнені клітинки впишіть п'ять прізвищ учених-фізиків, які розпочинаються літерою **В**.

1. Перший рядок зверху — американський фізик, який побудував криву дисперсії парів натрію.
2. Французький дослідник, який відкрив одну із складових частин радіоактивного випромінювання.
3. Німецький учений, в лабораторії якого стажувався Д.С.Рожественський.
4. Французький учений, який винайшов електрофор 1777 року.
5. Фізик, відомий спеціаліст у квантовій оптиці.



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



Ісаак Ньютон та його система Світу*

Іван Вакарчук
професор Львівського державного
університету імені Івана Франка

Якщо я і бачив далі за інших, то лише тому, що я стояв на плечах гігантів

Ісаак Ньютон

Ісаак Ньютон був ученим, який здійснив першу наукову революцію, повністю перебудував принципи динаміки і на їх основі створив наукову картину світу. Його відкриття зробили найсильніший вплив на розвиток науки, на поступ людства, на творення матеріальної та духовної культури нашої цивілізації, ніж будь-кого іншого.

Хоча і Ньютон мав великих попередників, про це свідчать його слова, які ми навели епіграфом.

Ісаак Ньютон народився в день народження Ісуса Христа у Вулсторні в Англії 1642 року. Цього року помер Галілео Галілей (1564-1642). У дитинстві Ньютон мав нахил до механіки, був здібний до майстрування, хоча особливої уваги вчителів до себе не привернув. Вісімнадцятирічним вступив до університету у Кембріджі, де зробив швидкі кроки в опануванні математикою й згодом зайнявся самостійними дослідженнями. У 1665 році внаслідок чуми Ньютон, як і інші викладачі та студенти, на два роки залишає Кембрідж. Протягом цих двох років у Вулсторні, у сільській міс-



цевості, він багато і плідно займається натуральною філософією (тобто фізикою), де вперше приходить йому ідея про закон всесвітнього тяжіння, вивчає проблеми оптики, конструює телескоп-рефлектор.

Після повернення до Кембріджу він продовжує ці та інші дослідження. У 1669 році займає кафедру математики, проводить розрахунки діаметра Землі, публікує лекції з математики, а 1684 року за

пропозицією астронома Едмунда Галлея (1656-1742) вивчає проблеми руху небесних тіл, конкретно розраховує траєкторію планет, які притягає Сонце, згідно з гіпотезою Роберта Гука (1635-1703), за законом обернених квадратів. Саме з цих досліджень і виник один з найбільших шедеврів у історії науки "Математичні принципи натуральної філософії", який був опублікований 1687 року [1]. Його виходу у світ передувала суперечка про пріоритет у відкритті закону сили, яка є обернено пропорційною до квадрата відстані. Виникла суперечка з Гуком, який наполягав на своєму пріоритеті. Вона була розв'язана тим, що Ньютон подав у роботі примітку¹ про те, що цей закон раніше запропонували Рен², Гук і Галлей.

¹ "Випадок, наведений у наслідку 6, має місце для небесних тіл (як незалежно один від одного зазначили Рен, Гук і Галлей)...", [1, с. 80].

² Крістофер Рен (1632-1723) — англійський учений і архітектор.

*З курсу лекцій з філософії науки за магістерською програмою для гуманітарних факультетів у Львівському державному університеті імені Івана Франка.



Після цього Ньютон займався дослідженням числення нескінченно малих величин, хімією і з 1692-1694-их років після нервового виснаження фактично лише публікував свої неопубліковані праці та перевидавав уже опубліковані, займався проблемами історії, особливо стародавньої. Помер він 1727 року і був похований у Вестмінстерському абатстві. На похоронах був Вольтер, який багато зробив для поширення ідей Ньютона у Франції.

Важливо зазначити, що ще у доньютонівський період, у першій половині XVII століття, було зроблено значний поступ в усвідомленні того, що таке наука. Англійський філософ Френсіс Бекон (1561-1626), французький філософ Рене Декарт (1596-1650) звернулись до науковців Європи з закликом особисто проводити дослідження або спостереження та припинити беззастережне апелювання до авторитету Аристотеля. І цей великий крок зробив Галілео Галілей — засновник сучасної науки. Саме від нього фізика бере початок як наука.

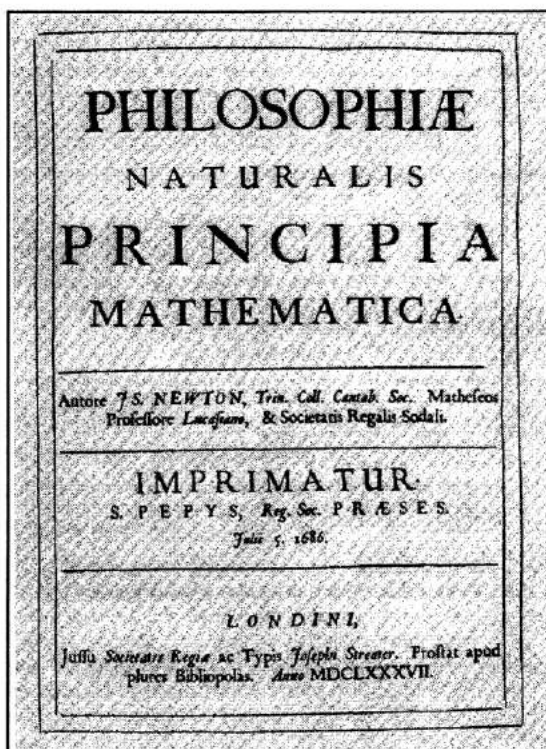


Рис. 1. Титул першого 1687 року видання "Принципів" Ісаака Ньютона

"...Висувайте докази свої або Аристотеля, а не посилайтесь на тексти чи авторитети, тому що наша розмова — про чуттєвий світ, а не паперовий"

Галілео Галілей

Аристотель (384-322 до н. е.) твердив, що важкі тіла падають швидше, ніж легкі. Авторитет грецького філософа був такий великий, що цілі покоління учених до Галілея сприймали це твердження як істину. Галілей вирішив це перевірити і довів (спостерігаючи за падінням тіл із похиленої Пізанської вежі), що Аристотель помилився. Насправді важкі та легкі тіла, незалежно від їх ваги, падають з однаковою швидкістю. Зрозуміло, якщо не брати до уваги опір повітря, який гальмує падіння. Мабуть, Аристотель своє твердження сформулював також на основі спостережень на побутовому рівні (власне, не роблячи зусиль у здійсненні ретельного наукового експерименту, в аналізі впливу опору повітря).

Галілей був першим ученим, який поставив дослід на рівень експерименту, тобто як спеціальний дослід для перевірки та встановлення закономірностей між явищами. Це центральна ідея в розвитку науки. Опис спостережуваного, а не віртуального світу, потребує, крім логічного мислення, постійного експериментування та відслідковування за результатами експериментів логічних зв'язків у Природі. Він був першим ученим, який наполягав на необхідності експериментувати.

Завдання науки полягає в тому, щоб пояснювати на підставі результатів попередньо проведених експериментів результати інших, наступних експериментів.

Цікаво, що сучасні потужні комп'ютери дають змогу "розігрувати" такі експерименти, які важко здійснити у природних умовах. Наприклад, при надвисоких тисках і температурах, які є у центральних областях Землі чи на Сонці. Можуть "проводитись" також експерименти у віртуальній дійсності (словами Галілея — це паперовий світ!). Ці еталонні експерименти з успіхом допомагають у здійсненні логічних міркувань та перевірці правильності їхніх наслідків.



На думку автора, право на існування має неперервний ряд Світів з неперервно змінними фундаментальними сталими та іншими, ніж у нашому Світі, зв'язками між явищами. Але там немає таких свідків цих явищ та подій, як ми з вами (антропний принцип).

Після цього відкриття Галілей зробив наступний крок. Він акуратно виміряв відстань, яку проходить падаюче тіло за певний час, і встановив, що ця відстань з пропорційна до квадрата часу t . Математично це записуємо так:

$$s = const \cdot t^2$$

Наївні побутові спостереження за навколишніми предметами наводять на думку, що рухомі предмети, рухаючись природно, без зовнішніх сил, поступово сповільнюються і зупиняються. Галілей показав, що це не так. Якщо би вилучити (знищити) вплив усіх сил, у тому числі тертя, які гальмують рух, то тіло б рухалось не сповільнюючись, зі сталою швидкістю: $v = const$. Це твердження Галілея Ньютон увів у свою систему законів як перший закон Ньютона.

Наступним кроком Галілея було встановлення принципу відносності (1636). Цей принцип твердить, що усі закони механіки у так званих інерціальних системах відліку однакові. Саме в інерціальній системі відліку тіло, надане саме собі, не змінює своєї швидкості.

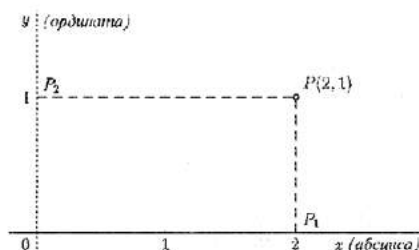


Рис. 2. Декартова система координат

Система відліку — це нове поняття для науки XVII століття. В утвердженні цього поняття визначальною є революційна ідея Рене Декарта, яку він виклав у невеличкому трактаті “Геометрія”. Можливо, що її вже застосовував інший французький учений, юрист за фахом, П’єр Ферма, котрий у вільний час займався математикою. Отже, якщо з деякої точки 0 провести вертикальну та горизонтальну прямі (як зображено на рис. 2) і вибрати одиницю виміру відстані (еталон, масштаб), за допомогою якої вимірюємо відстані OP_1 та OP_2 уздовж горизонтальної та вертикальної прямих від точки 0, то парі чисел (2,1) відповідає одна і лише одна точка P на площині, та яка має абсцису 2 та ординату 1. Якщо точку P переміщувати по площині, то координати (x,y) усіх точок кривої задаються рівнянням, яке називається рівнянням кривої. Цей алгебраїчний метод дослідження кривих надзвичайно потужний порівняно з геометрією стародавніх греків. Ідея Декарта настільки проста, що є, як і усе велике, очевидною. Водночас хтось сказав, що вона значніша, ніж тексти знаменитих промовців порівняно з абеткою.

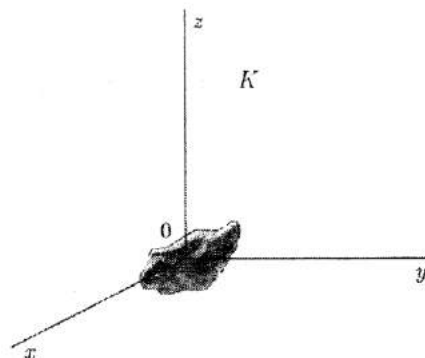


Рис. 3. Система відліку

Отже, системою відліку K може бути тіло, з яким у точці 0 жорстко пов'язані три взаємоперпендикулярні стержні, які однозначно задають координати (x,y,z) інших тіл у тривимірному просторі, рух яких досліджуємо (див. рис. 3).

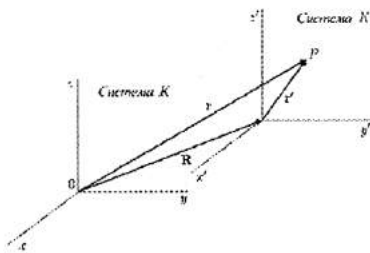


Рис. 4. Інерціальна система відліку

Принцип відносності твердить, що закони Природи у системі К та К', яка рухається відносно К з постійною швидкістю v , однакові (рис. 4):

$$r = R + r' ,$$

$R = vt$ - перетворення Галілея.

Насправді принцип відносності Галілея говорить не про всі закони Природи, а лише про закони механіки.

Якщо осі систем К та К' паралельні, і система К' рухається уздовж x , то перетворення Галілея є такими:

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

- часи в обидвох системах однакові.

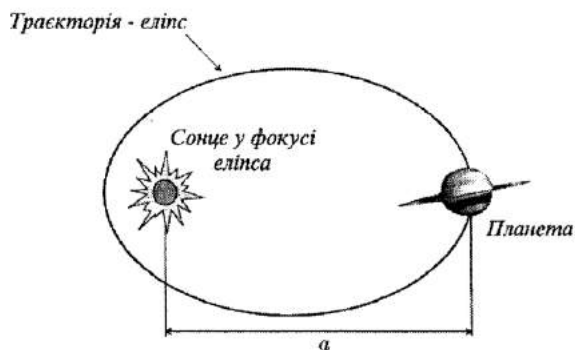


Рис. 5. Перший закон Кеплера

На основі свого другого закону Ньютон³, з висновку про незалежність від маси швид-

³Зміна кількості руху пропорційна прикладеній рушійній силі і відбувається у напрямку тієї прямої, по якій ця сила діє [1].

кості падаючих тіл доводить, що сила, спричинена гравітацією, пропорційна до маси тіла, на яке вона діє. А третій закон Ньютона⁴ твердить, що ця сила пропорційна до маси тіла, що є джерелом сили.

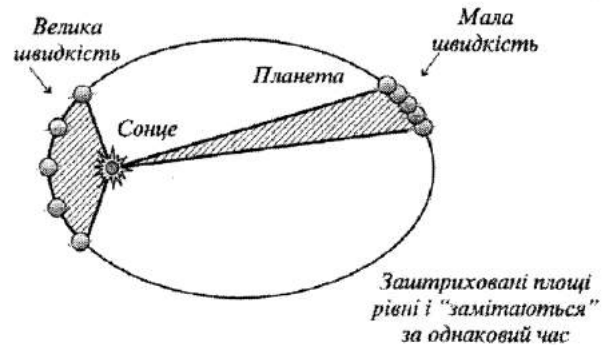


Рис. 6. Другий закон Кеплера

Закони Йогана Кеплера про рух планет навколо Сонця, які він встановив на основі геліоцентричної системи Миколи Коперніка та на підставі детального аналізу надзвичайно багаточисельних і точних експериментальних вимірювань данського ученого Тіхо Браге⁵ (1546-1601), дали змогу Ньютону встановити закон обернених квадратів для гравітаційних сил⁶.

Зміст перших двох законів Кеплера відображений на рис. 5 та рис. 6, а третій закон стверджує, що

$$T^2 = const \times a^3 ,$$

T - період обертання, a - велика піввісь еліпса.

⁴Дії завжди є рівною і протилежною протидією, інакше — взаємодії двох тіл одне на одного між собою рівні і спрямовані у протилежні боки [1].

⁵Тіхо Браге 1599 року з Копенгагену (а точніше зі своєї обсерваторії на острові у протоці біля Копенгагену) перебрався до Праги на запрошення імператора Рудольфа II, він запросив також до Праги і Й.Кеплера, який після смерті Тіхо Браге став придворним математиком.

⁶Коли Галлей поставив перед Ньютоном питання про форму орбіти планети, яка рухається під дією сили обернено пропорційно до квадрата відстані, Ньютон відразу відповів — еліпс. На зауваження Галлея, звідки це відомо, Ньютон відповів, що він це вже розрахував, але загубив розрахунки. Галлей попросив Ньютона повторити їх — так з'явилися його знамениті "Математичні принципи..."



Ньютон у третій книзі “Про систему світу” своїх “Принципів” формулює “правила філософських міркувань”, які становлять те, що ми називаємо методологією науки.

Правило I говорить про те, що

Не потрібно брати до розгляду причин більше, ніж тих, яких достатньо для пояснення спостережуваних природних явищ.

Цей постулат є вираженням думки про те, що Природа нічого не робить марно, вона не розкошує зайвими причинами речей.

Правило II:

Одні й ті ж явища ми повинні, наскільки можливо, пояснювати тими ж причинами.

Тобто Природа є “одноманітною”, скрізь вона веде себе подібним чином: її закони однакові будь-де на Землі — і в Європі, і в Африці, і чи на Землі, чи на Планетах (потрібно додати: сьогодні й завтра).

Правило III:

Властивості тіл, що поступово не змінюються й виявляються в усіх тілах у межах нашого експерименту, є універсальними.

Властивості тіл ми вивчаємо в дослідах, тому за загальні властивості треба брати ті, що не можуть бути усунуті. Не потрібно ухилятися від подібності у Природі, тому що Вона завжди є простою і завжди сама у злагоді зі собою.

Правило IV:

В експериментальній фізиці судження, які виведені методами індукції, розглядаються як істинні (незважаючи на можливість протилежних), поки не будуть знайдені інші явища, завдяки яким ці судження підлягатимуть вилученню.

Ісаак Ньютон розглядав світ як великий механізм, закони руху окремих частин якого встановлюємо індуктивним шляхом через експеримент. Він вважав, що повинен існувати абсолютний простір. Інерціальні системи відліку є ті, що знаходяться у стані спокою або рівномірного й прямолінійного руху відносно цього абсолютного простору. За його словами, абсолютний простір за своєю суттю, безвідносно до будь-чого зовнішнього, залишається завжди одна-

ковим і нерухомим. Усі зміни ми відчуваємо відносно до нього. Простір Ньютон вважав вмістилищем матеріальних об'єктів, декорацією, на тлі якої розігруються спостережувані явища. Ньютонівську концепцію абсолютного простору розкритикував Готфрід Вільгельм Ляйбніц (1646-1716). Він уважав, що немає потреби у будь-якій концепції простору, окрім тієї, що впливає зі зв'язків між матеріальними об'єктами. Справжню критику цієї концепції дав пізніше Ернст Мах (1838-1916) 1880 року.

У цій третій книзі Ньютон на основі встановлених і математично сформульованих законів детально досліджує рух планет навколо Сонця, супутників Юпітера, Сатурна та Місяця навколо Землі; закон всесвітнього тяжіння між різними тілами, порівняння ваги тіла у різних областях Землі, припливи і відпливи моря від дії Місяця та Сонця, відстань від Землі до Місяця, фігуру Місяця, рух комет та їх природу. Дослідження цього гігантського механізму демонструють силу встановлених закономірностей і справді є побудовою системи Світу.

У прикінцевих загальних зауваженнях Ньютон у захваті від вишуканої гармонії у зв'язку Сонця, планет і комет торкається проблеми світобудови. Світ міг виникати лише за проектом мудрої й могутньої Істоти — вічного, нескінченного, досконалого, абсолютного Повелителя Всесвіту (*Παντοκράτωρ*). З його правильного владарювання випливає, що ця Істота є живою та розумною, вона всесильна і всезнаюча. Саме Порядок, гармонія Світу демонструє існування Бога.

Проблема науки і віри була і є актуальною. Ще Платон у своїх “Діалогах” наголошував, що віра і знання зовсім не одне і те ж⁷. Галілей формулює відмінності між

⁷Сократ... Якби тебе хтось запитав: “Горгію, чи є віра істинна й хибна?, ти, на мою думку, сказав би, що є.

Горгій. Звичайно.

Сократ. А далі? Знання буває істинним й хибним?

Горгій. Ні!

Сократ. Тоді виходить, що вони різні?

Горгій. Правду кажеш.

Платон. Діалоги. Горгій (Переклад Дзвенислави Коваль).



судженнями науки і віри. Він відзначає незалежність науки від Святого Письма твердженням, що Святий Дух учить нас, як потрапити на Небо, а не як воно рухається. Святе Письмо — це не трактат з астрономії, у ньому немає інформації про те, як розташовані і як рухаються небесні тіла: крім Сонця та Місяця планети там й не згадуються (хіба що Венера за назвою Люцифера). Наука — один з інструментів правильного трактування Святого письма. Його не можуть тлумачити невігласи в науці. Наука робить поступ й небезпечно нав'язувати Святому письму ідеї, які в майбутньому можуть бути відкинуті⁸. Наука і віра несумірні, але сумісні. Наука є нейтральною до світу цінностей, а віра є некомпетентною в поясненні фактів. Наука і віра займаються кожна своїми справами і співіснують: наука говорить як влаштоване Небо, а віра — як потрапити на Небо.

⁸Яскравим підтвердженням цих слів є реабілітація Церквою вже у наші дні деяких природодослідників і серед них Галілея.

Протягом наступних століть закони Ньютона дали блискуче пояснення багатьом спостережуваним явищам. Одним з найефективніших підтверджень теорії Ньютона було передбачення 1846 року (Джон К. Адамс (1819-1892) в Англії і Урбен Ж. Ж. Левер'є (1811-1977) у Франції) планети Нептун за відхиленнями орбіти Урана від ньютонівської орбіти і її експериментальне виявлення.

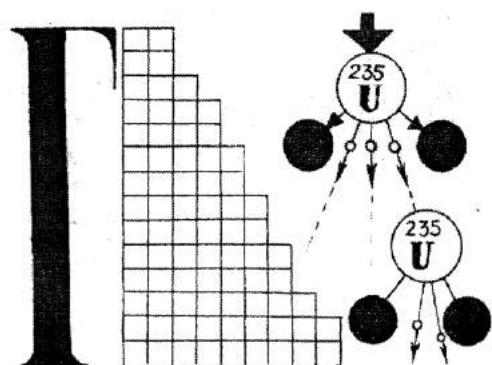
Незліченні підтвердження законів Ньютона, розвиток саме на їх основі усього розмаїття космічних досліджень, які своєю чергою піддали їх перевірці з надзвичайно високою точністю, наш світогляд, усталений значною мірою генієм Ньютона, переповнюють гордістю людей за те, що один з них досягнув у свій час таких меж людського розуму, що було й буде предметом нашого постійного захоплення.

[1] *Исаак Ньютон. Математические начала натуральной философии/ Перев. с латинского и комментарии А.Н. Крылова. М., 1989. 687 с.*

[2] *Дж. Реале и Д. Антисери. Западная философия от истоков до наших дней. Санкт-Петербург, 1996. Т 3. 713 с.*

У незаповнені клітинки впишіть чотирнадцять прізвищ учених-фізиків, які розпочинаються літерою Г.

1. Перший рядок зверху — англійський фізик, його прізвищем названий закон, який він відкрив. 2. Один з авторів відкриття явища ділення ядер урану. 3. Німецький учений, який експериментально одержав магнітні хвилі. 4. Олександрійський інженер і математик, який написав книгу механіка. 5. Англійський фізик, іменем якого названа одиниця індуктивності. 6. Учений, що відкрив відому комету. 7. Учений, який побудував лічильник заряджених частинок. 8. Учений причетний до створення хвильової теорії світла. 9. Великий італійський учений. 10. Придворний лікар англійської королеви, який вперше розглянув електричні та магнітні явища з наукової точки зору. 11. Автор праці "Трактат про сили електричні при м'язовому русі". 12. Ірландський математик, який створив операторне та векторне обчислення. 13. Німецький фізик, один з авторів закону збереження та перетворення енергій. 14. Німецький фізик, лауреат Нобелівської премії 1933 року, яку він одержав за створення квантової механіки.



ПРО КОНЦЕПЦІЮ ВИКЛАДАННЯ АСТРОНОМІЇ В СЕРЕДНІЙ ШКОЛІ УКРАЇНИ

Я.Яцків, академік Національної академії наук України, директор Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, президент Української астрономічної асоціації,

В.Каретников, професор, завідувач кафедри астрономії Одеського державного університету, віце-президент Української астрономічної асоціації,

Ю.Александров, професор, завідувач кафедри астрономії Харківського державного університету,

В.Івченко, доцент, завідувач кафедри астрономії Київського університету,

І.Крячко, директор Київського планетарію,

І.Вавилова, канд.фіз.-мат. наук, вчений секретар Української астрономічної асоціації

Астрономія є однією з найдавніших наук, роль якої на формування світогляду людини важко переоцінити. Астрономія виникла з практичних потреб людини (необхідності лічби часу, розуміння зміни сезонних явищ, визначення місця положень мандрівників по зорях). У нашому сторіччі і, особливо, за час практичної космонавтики, астрономія дала нам відкриття загальнолюдського значення, зокрема, була досліджена просторова структура Всесвіту, відкрито безліч його нових об'єктів. Ми наближаємося до розуміння складних механізмів взаємодії земної цивілізації в навколишньому світі тощо. Ці дослідження стимулювали появу нових напрямів науки. Скажімо, розуміння, як Сонце підтримує свою енергодіяльність, сприяло розвитку нового технологічного напрямку — термоядерної енергетики. Космічні дослідження, зокрема, польоти людини на Місяць, спричинили революцію в комп'ютерних технологіях. Астрономія почалася з практичних потреб, — і зараз цей зв'язок з практикою не припиняється. Наприклад, для побудови надточної системи лічби часу на Землі планують використовувати надточне обертання пульсарів, відкритих три десятиріччя тому, а бажання розширити наше уявлення про Всесвіт стимулює розвиток нових типів космічних апаратів та орбітальних телескопів, а, отже, і розвиток нових технологій та суміжних дисциплін.

Історія викладання астрономії розпочалася у стародавні часи, коли цю дисципліну вивчали у всіх навчальних закладах, незалежно від їх спеціалізації та визнаного на той час уявлення про систему побудови Всесвіту. Вже тоді педагоги розуміли велике світоглядне значення астрономії

та її дидактичний потенціал, що формує впорядковану систему міжпредметних зв'язків та знань. Поступово в часи середньовіччя, і особливо у XVIII - XIX ст. сформувалася концепція викладання астрономії у середніх навчальних закладах. У царській Росії це був достатньо обґрунтований гімназійний курс з астрономії — дві години щотижня. У колишньому СРСР цей курс було скорочено до однієї години у випускному класі середньої школи. Але навіть такої кількості годин з астрономії на тлі загального високого рівня викладання фізико-математичних дисциплін загалом, було достатньо, щоб забезпечити колишній Радянський Союз висококваліфікованими кадрами в космічній і астрономічній галузях. Напевно, систему викладання фізико-математичних дисциплін у школі і вищих навчальних закладах колишнього Радянського Союзу можна вважати одним із позитивних здобутків тієї держави. У більшості країн Заходу астрономія викладалася і викладається у середніх навчальних закладах як обов'язковий, загальноосвітній предмет. Американський уряд, проаналізувавши ситуацію, пов'язану з поступовим зменшенням протягом останнього десятиріччя кількості годин для викладання інженерних та природничих дисциплін у коледжах і університетах країни, що призвело до відсутності достатньої кількості власних спеціалістів і необхідності черпати їх за кордоном, розробив низку заходів щоб виправити становище. Цікаво, що одним із висновків Комісії Конгресу США з питань освіти (Комісії Бакола) було ліквідувати цей недолік збільшивши кількість годин для викладання астрономії, як найцікавішої для молоді природознавчої дис-

ципліни, що стимулює інтерес до точних наук загалом, і сприяє формуванню науково-технічної еліти суспільства. Серед інших пропозицій цієї Комісії — призначити астрономічні стипендії кращим старшокласникам, організувати на базі університетів та астрономічних установ спеціальні курси підвищення рівня знань з астрономії для вчителів, які викладають природознавчі предмети, та для учнів, які глибше цікавляться цією дисципліною.

В Україні астрономія не є обов'язковим предметом у середній школі. Наведемо декілька причин, чому це становище слід виправити в нашій державі:

Перша стосується *загальноосвітнього значення астрономії*. Передусім — це наочна, доступна для розуміння і, певною мірою, романтична наука. З одного боку, в ній присутні такі спостережні об'єкти та явища, походження яких завжди цікавило людей. Але ті, хто не вивчав астрономію, часто не можуть пояснити прості та звичайні явища, довіряють пророцтвам астрологів, демонструють вірець нецтва та окультних знань. З іншого боку, астрономія — це точна наука, яка використовує багатий математичний апарат, знання з хімії, біології, геології та інших наук, сучасні комп'ютерні методи обробки та візуалізації інформації. Особливим є взаємозв'язок астрономії та фізики — астрономія містить у собі весь діапазон понять сучасної фізики (цей діапазон є таким широким тому, що він спирається на астрономічні знання). За комплексом понять і явищ, які вивчає астрономія, ця дисципліна узагальнює і завершує цикл природничого навчання в школі і можлива для адекватного сприйняття тільки учнями старших класів шкіл. Може виникнути бажання включати елементи астрономії в інші природознавчі дисципліни. Але такий підхід не доцільний, бо об'єкти і методи дослідження та більшість проблем, що розглядається, притаманні тільки астрономії. Ясна річ, що елементи астрономії мусять бути в інших дисциплінах природничого циклу в молодших класах, як це було раніше. На наш погляд, астрономію не може викладати як розділ інших природничих дисциплін, вона повинна бути самостійним предметом.

Друга причина стосується *формування науково-діалектичного світогляду людини*. Безумовним є факт, що викладання астрономії

сприяє розширенню світогляду людини. Прослухавши, принаймні в школі, астрономічний курс, людина зможе використовувати ці знання навіть, якщо її майбутня професія не буде пов'язаною з природничими науками чи технікою. Бо астрономія є животворним джерелом для творчості багатьох художників і письменників від епохи Відродження до сучасності, темою класичних і сучасних музичних творів. А діти, які народилися на порозі третього тисячоліття, стануть свідками польотів на Марс, багаторічної роботи космонавтів на навколосезній орбіті на борту Міжнародної космічної станції, польотів космічних апаратів до комет та інших тіл Сонячної системи, можливого відкриття життя на інших планетах. Наші діти не зрозуміють нас, якщо ми перервемо суцільний діалектичний ланцюг знань і не допоможемо їм зрозуміти та оцінити майбутні нові відкриття людства. Наприклад, у США існує навіть спеціальний "Проект 2061", мета якого — гарантувати астрономічну грамотність випускників шкіл до 2061 року, коли до нас повернеться комета Галлея. Щодо астрономічної грамотності в Україні, то вже зараз спостерігається негативний вплив декількох останніх років, коли астрономія була вилучена з загальноосвітньої програми. Тестування студентів одного з природничих факультетів Львівського державного університету імені Івана Франка показало, що більшість студентів не змогла пояснити причини зміни дня і ночі та вважала, що Сонце обертається навколо Землі! Тобто, за своїми уявленнями деякі студенти перебувають на рівні докоперніканської епохи! Аналіз рівня знань з фізико-математичних дисциплін студентів Київського національного університету свідчить, що цей рівень часто настільки низький, що вже вимагає від викладача враховувати цей факт під час лекцій, які ще не так давно були зрозумілі для попередніх поколінь студентів. Очевидно, що найпростіші астрономічні поняття та явища повинні бути відомими та зрозумілими сучасній людині, тим паче, якщо за фахом це — майбутній представник природничих або інженерних наук.

Третя з причин пов'язана з *національними інтересами України*. Після розпаду Радянського Союзу Україна успадкувала широкорозвинені інфраструктури космічної галузі та астрономічних установ, де працюють відомі в світі вчені й

конструктори. Їхні успіхи є гордістю країни, яка, як *космічна держава*, має за цими напрямками у міжнародному науково-технічному розподілі свої національні пріоритети і тому не може дозволити собі таку розкіш, як не викладати астрономію в школі.

В Україні вже склалася певна спеціалізація середніх навчальних закладів. Реально існують і працюють навчальні заклади загальноосвітнього (середні школи), гуманітарного (гімназії) та природничо-наукового (ліцеї) профілів. Тому *концепція викладання астрономії в школі має диференційований підхід, а саме: складова частина астрономічних знань повинна враховувати спеціалізацію середніх навчальних закладів*. Загальні положення концепції такі:

1. У *загальноосвітній школі* викладання астрономії ставить за мету дати учням мінімально необхідні знання з усіх напрямів астрономії, які повинні викладатися у науково-популярній формі зі збереженням науковості, приділивши основну увагу висвітленню тих понять, які потрібні людині у повсякденному житті (календарі, відлік часу, координати, загальні поняття про будову Сонячної системи, небесні тіла, наше місце у Всесвіті). Такий курс можна назвати “наочною астрономією”.

2. У *гімназії* курс астрономії повинен містити у собі курс загальноосвітньої середньої школи, дати елементарні практичні знання. Цей курс повинен орієнтуватися більше на гуманістичні, світоглядні та культурологічні аспекти цієї дисципліни.

3. У *ліцеях* як середніх навчальних закладах природничо-наукового профілю, астрономічний курс повинен включати ті ж елементи, що є в загальноосвітній школі, але з більшим використанням фізико-математичного апарату. Крім того, цей курс повинен включати практичні навички з астрономії та можливості використання астрономічних знань в інших галузях науки.

Отже, з нашої точки зору, *випускники середніх шкіл повинні:*

— добре знати лічбу часу і календарі, визначати місцеположення і системи координат, вміти пояснювати явища добового і річного руху небесних тіл та сезонних змін погоди;

— добре розуміти причини сонячних і

місячних затемнень, появу комет і метеорів, знати будову Сонячної системи;

— знати, з яких небесних тіл складається Всесвіт і чим вони відрізняються (планетні системи, зорі, скупчення зірок, галактики, скупчення галактик), знати сучасні уявлення про походження Всесвіту і Сонячної системи;

— знати, якими засобами ведуться астрономічні дослідження з поверхні Землі та за допомогою космічних апаратів;

— розрізнити “астрономію” й “астрологію”, яка є реліктом історії розвитку цивілізації. Важливо, аби учні розуміли, що принципи астрології науково не обґрунтовані, мають необдуманий та міфологічний характер, підтримують містичне ставлення до природи та суспільства.

Отже, зважаючи на значення астрономії у формуванні світогляду людини, науково-діалектичного наповнення цієї дисципліни, вона повинна входити до державного стандарту навчання в українській школі як самостійний предмет у випускних класах усіх типів шкіл. Обсяги занять повинні становити: для загальноосвітніх шкіл не менше однієї години щотижня, у гімназіях і ліцеях — не менше двох годин. Заняття повинні супроводжуватися показом добре ілюстрованих наочних засобів (атласи, комп'ютерні демонстрації тощо), практичними заняттями і екскурсіями до обсерваторій та планетаріїв, де це можливо.

Реалізувати такий підхід до викладання астрономії непросто, і це вимагає певних зусиль органів влади і науковців. Українська астрономічна асоціація (УАА), яка об'єднує 16 астрономічних установ, у тому числі 5 кафедр і обсерваторій вищих навчальних закладів України, разом з Київським планетарієм вже запланувала низку заходів з цієї проблеми:

1. На замовлення УАА готується новий підручник з астрономії для загальноосвітньої школи. Його автор — Іван Антонович Климишин, професор Прикарпатського університету, відомий учений і популяризатор астрономічних знань.

2. Планується видання наочного посібника — атласа з астрономії.

3. Вирішено проводити щорічні заочно-очні обласні і національні олімпіади, переможці яких могли б отримувати премії та право на вступ до університетів за спеціальністю “Астрономія” без іспитів (за результатами співбесіди).

4. УАА готова брати участь в організації щорічних курсів з підвищення кваліфікації учителів — викладачів астрономії.

5. УАА готова розширити кількість літніх шкіл для вчителів та учнів на базі відомих астрономічних обсерваторій, взявши за приклад досвід проведення таких шкіл у Кримській астрофізичній обсерваторії та обсерваторії Миколаївського пединституту, а також діяльність Київського та Одеського планетаріїв.

УАА неодноразово ініціювала наради за участю представників Міністерства освіти, б'ючи в набат з приводу вилучення астрономії з програми загальноосвітньої школи. На загальних зборах Відділення фізики і астрономії НАН України, які відбулися 6 квітня цього року, було розглянуто питання про поступове зменшення обсягу викладання фізики і астрономії в школі, вплив якого відразу позначився на якості знань першокурсників фізико-математичних і технічних факультетів університетів країни. Від імені членів Національної академії наук України було прийнято Звернення до Президента та Прем'єр-Міністра України, в якому охарактеризовано здобутки і переваги системи підготовки високо-кваліфікованих учнів у галузі фізико-математичних наук, яка існувала раніше в Україні; зазначено необґрунтованість сучасних дик навчання, які не враховують дос-

татньо здатність наших учнів до сприйняття фізико-математичних дисциплін і потреб розвитку національної економіки. У зверненні наголошено, що “потрібні рішучі кроки на найвищому рівні, щоб не допустити зневажливого ставлення до вивчення фізики і астрономії” у середній школі.

Отже, ми вважаємо, що сьогодні слід:

— звернути увагу на важливість астрономічних знань як складової частини науково-діалектичного і гуманітарного світогляду сучасної людини;

— нагадати, як викладалася астрономія в колишньому Радянському Союзі і як вона викладається зараз, наприклад, у Сполучених Штатах Америки;

— наголосити на причинах, чому в середніх школах України потрібно викладати астрономію;

— запропонувати концепцію викладання астрономії в Україні;

— повідомити, як Національна академія наук України та Українська астрономічна асоціація працюють над включенням предмета “Астрономія” до програми навчальних занять у середній школі.

Сподіваємось, що наші загальні зусилля сприятимуть включенню “Астрономії” до державного стандарту навчання в українській школі як самостійного предмета у випускних класах усіх типів шкіл.



Концептуальні питання освіти: необов'язковість включення деяких предметів до навчальних планів, складання випускних екзаменів школярами за вибором, вилучення низки предметів із вступних випробувань у вищих навчальних закладах викликає щораз більше занепокоєння серед громадськості. Підтвердженням цього є стаття Я.Яцківа та ін. “Про концепцію викладання астрономії в середній школі України”.

Україна, прагнучи до європейської інтеграції, мусить забезпечити належний рівень викладання та вивчення природничих наук, на яких ґрунтуватимуться найпередовіші промислові та інформаційні технології майбутнього.

Редакція і надалі планує на сторінках журналу “Світ фізики” досліджувати актуальні проблеми та тенденції розвитку освіти України у галузі природничих наук.

Шановні читачі! Звертаємось до Вас з проханням поділитися своїм баченням цих проблем.

Адреса редакції: редакція журналу “Світ фізики”,
вул. Саксаганського, 1,
290005 м. Львів; тел. (0322) 72 68 11; sf@kff.franko.lviv.ua.



Відомий шведський промисловець XIX століття Альфред Нобель 1895 року заповів використати свій капітал на створення спеціального фонду, прибутки від якого слід використовувати для присудження премій ученим, які внесли вагомий вклад у галузі фізики, хімії та медицини. Перша премія в галузі фізики була присуджена 1901 року К. Рентгену.

Офіційна церемонія вручення премій відбувається щорічно 10 грудня, в день смерті Альфреда Нобеля.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАУРЕАТИ

1987

Відкриття високотемпературної надпровідності



Карл Мюллер



Йоганнес Беднорц

1. Щасливі миті Карла Мюллера та Йоганнеса Беднорца

Весна 1986 р. принесла справжню сенсацію. На щасливу стежу вдалося вийти науковцям Цюріхської (Швейцарія) філії американської транснаціональної корпорації ІВМ. Там, у містечку Рюшлікони, що неподалік від Цюріха, на початку 60-х років з ініціативи швейцарського фізика, професора Цюріхського університету Карла Алекса Мюллера (1927 р. н.) була створена комплексна експериментально-дослідна лабораторія фірми ІВМ. Велися дослідження пошукового або розвідкового характеру з поглядом у перспективу.

Професор К. Мюллер вивчав оксидні діелектрики типу SrTiO_3 і LaAlO_3 зі структурою перовськіту як модельні об'єкти з точки зору структурних та фероелектричних фазових перетворень. Зокрема він провів піонерські досліді зі спінового резонансу, які дали змогу визначити локальну симетрію цих кристалів, пов'язану, як з'ясувалося, з октаедричними TiO_6 — кластерами¹.

У 1982 р., після здобуття докторського ступеня у царині низькотемпературної кристалографії, з фірмою ІВМ уклав контракт і розпочав працю у лабораторії у Рюшлікони здібний дослідник з Німеччини Йоганнес Георг Беднорц, випусник Мюнстерського університету².

¹ Кластери — це характерні структурні фрагменти кристала.

З осені 1983 р. К. А. Мюллер та Й. Г. Беднорц розпочали цілеспрямовано шукати способи підвищення критичної температури T_K , тобто температури переходу матеріалу в надпровідний стан.

Проаналізувавши тогочасне становище щодо різних методів підвищення критичної температури, у лабораторії дійшли до висновку, що інтерметалічні сполуки не обіцяють перспектив підвищення рекордної на той час $T_K = 23,2$ К. Тому основна увага була зосереджена на складних оксидних сполуках зі структурою перовськіту: SrTiO_3 , $\text{Li}_{1+x}\text{Ti}_{2-x}\text{O}_4$ з $T_K \approx 13$ К. Було відомо, що це сполуки з проміжною валентністю, для яких характерна мала концентрація носіїв ($n \approx 4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) і низька густина станів на поверхні Фермі $N(E_F)$. Порівняно висока критична температура могла зумовлюватися тим, що для цих сполук константа електрон-фононної взаємодії досить висока.

² Докторську працю Й. Г. Беднорц виконував у лабораторії фізики твердого тіла в Цюріху. Одним із його консультантів був проф. К. О. Мюллер. Захист дисертації відбувся 1982 р. у Цюріху на науковій раді у Швейцарському федеральному технічному університеті. У дисертації були вивчені структурні перетворення у твердих розчинах перовськітів. Ідеї К. Мюллера щодо можливості керувати властивостями цих матеріалів, змінюючи їхній склад привабили молодого д-ра філософії Й. Беднорца, він радо прилучився до співпраці.



Відповідно до цього робилися спроби підвищити T_K у перовськітах, збільшуючи $N(E_F)$, змінюючи співвідношення компонентів у системах з проміжною валентністю.

Беднорц і Мюллер розпочали свої цілеспрямовані дослідження зі сполуки LaNiO_3 , а потім тривалентний нікель частково заміщали алюмінієм ($\text{LaAl}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_3$). Застосували метод створення внутрішніх деформацій у ґратці, замінюючи йон лантана на менший йон ітрію.

Це були щасливі дні і тижні спільних шукань, які завершилися тим, що, охолоджуючи керамічні зразки оксиду міді, барію і лантану ($\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_{3+\delta}$) Беднорц і Мюллер зауважили, що при $x \approx 0,2$ електричний опір зразка при температурі майже 20 К стрімко спадає до нуля. Відтак, після зміни концентрації барію, при $x \approx 0,15$ вдалося спостерігати початок стрімкого спаду опору вже при температурі найменше 30 К.

За декілька днів — і T_K збільшили на 10 К!

Перша реакція була цілком природною для кожного дослідника: перевірити, чи не допущено якихось помилок в електричних (резистивних) вимірах. Бо ж в історії досліджень надпровідності вже було так багато сенсаційних повідомлень, які згодом не підтвердилися...

Тому досліди багатократно повторювалися. (Довелося навіть позичати деякі чутливі прилади). Врешті у квітні 1986 р. до редакції журналу "Zeitschrift für Physik" надійшла невелика стаття Беднорца і Мюллера. Стаття мала досить обережний заголовок: "Можлива високотемпературна надпровідність у системі Ва-La-Cu-O".

Автори повідомляли, що виявили різке падіння опору кераміки вказаного типу при температурах 30–35 К.

Зазначимо, що на той час над цією проблемою працювали лише ці два дослідники.

Чи був їхній результат несподіваним? Частково — так, оскільки більшість відомих оксидних сполук є ізоляторами. Тому суто психологічно пошук надпровідності в метал-оксидних сполуках вважали ризикованою витівкою³. Хоч, з іншого боку, приклади металевої провідності у таких системах були добре відомі⁴.

Як би там не було, але фактом є те, що довгий час надпровідність шукали здебільшого "не там, де треба". Цей час тривав до 1960-х років. Перший надпровідник серед оксидних сполук зі структурою перовськіту був відкритий лише 1964 р. Це був кристал SrTiO_3 . Його критична температура (при концентрації вільних електронів порядку 10^{20} см^{-3}) виявилася всього майже 0,5 К. За десять років (1974–1975) знайшли

надпровідність в LiTi_2O_4 ($T_K \approx 11 \text{ K}$) та у кераміці $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ ($T_K \approx 13 \text{ K}$) при $x = 0,25$. Отже, упередження щодо недоцільності пошуків надпровідності у неметалевих системах було подолане⁵. Це привело до відкриття "екзотичних надпровідників" — важкоферміонних, органічних, напівмагнітних, а відтак — високотемпературних надпровідників.

У вересневому номері журналу стаття Беднорца і Мюллера була опублікована. Автори були дуже обережними у своїх твердженнях, остерегаючись зайвої сенсаційності. Та цього разу результат не лише підтвердився, але й швидко був перевершений.

Рекорд ($T_K = 23,2 \text{ K}$), який утримувався 13 років, було перевершено у півтора раз! Тому за новим класом надпровідників закріпилася назва "високотемпературні надпровідники" (ВТНП).

2. Результати підтверджуються

Магнітні дослідження високотемпературних надпровідників, що були виконані влітку, 1986 року виявили наявність ефекту Мейснера⁶. Після цього вже не могло бути жодних сумнівів у відкритті.

10 жовтня 1986 р. у журналі "Europhysics Letters" з'явилася друга публікація Беднорца і Мюллера "Вимірювання сприйнятливості підтверджують високотемпературну надпровідність в системі Ва-La-Cu-O".

У багатьох лабораторіях світу, відклавши поточні справи, поринули у проблеми надпровідності, знявши зі стелажних полиць запорешену апаратуру...

³ Нагадаємо відомий жарт: "Наука — це виконання забаганок допитливого вченого за кошти бюджету".

⁴ Див. монографію Нобелівського лауреата Невілла Мотта Перехід метал — ізолятор.

⁵ Упередження в побуті, напр., у питаннях моди, літературних, театральних чи живописних уподобань відіграють чималу роль. Це кожен знає. А ось наскільки цей психологічний чинник виявляється в науці, рекомендую моєму шановному читачеві порозмірковувати самостійно, подискутувати з колегами. Чи впливає цей суб'єктивний чинник на фінансування наукових проектів, на поцінування результатів? Адже в Інституті фізики НАН України це майже 15 років перед тим проф. Олександр Габович звернув увагу на перспективність пошуків ВТНП серед оксидних сполук. Та для московської імперської бюрократії (а вона ж диктувала "наукову політику") київську школу фізиків вважали чимсь маргінальним.



Згодом надійшли повідомлення про перші підтвердження з Японії, де проф. С. Танака та його співробітники повторили результати, одержані в Рюшлікони.

За декілька тижнів (наприкінці грудня 1986 р.), замінивши барію на стронцій, двом групам дослідників (групі проф. Танаки з Токіо та групі фірми Bell Laboratories, США) вдалося підвищити T_K майже до 40 К.

У ті ж дні в Гюстонському університеті (штат Техас, США) К. Чу зі співробітниками, піддаючи зразки першого складу (з барієм) тискові, наблизилися до $T_K = 37$ К і навіть вище. Причому T_K стрімко зростала з тиском ($dT_K/dP \sim 10^{-3}$ К/бар) до певної межі. Подальше збільшення тиску призводило до руйнування зразків.

Цікаво зазначити, що групи Танаки з Токійського університету і Чу з Гюстонського університету неспроста зуміли так швидко відреагувати на перше повідомлення Беднорца і Мюллера. У їхніх лабораторіях вивчали надпровідність, тому не бракувало ані досвіду, ані відповідного лабораторного обладнання. Це були насамперед прилади для магнітних та резистивних вимірювань, апаратура для рентгеноструктурних досліджень, технологічні лабораторії.

3. Вражаючий стрибок T_K

Зрозуміло, що перед фізиками була заповітна мета, до якої тепер вони відчайдушно (дні і ночі!) прагнули, наче до казкової вершини. Це — рубіж азотної температури (77,4 К). У лабораторіях Гюстонського університету вже не сумнівались, що манлива вершина буде здолана. Подальші події підтвердили обґрунтованість їхнього оптимізму. Ось як вони розвивалися.

Виявивши, що під час стискання лантан-барієвої кераміки T_K зростає від 34 до 40 К, К. Чу збагнув, що ще більшого ущільнення, а, отже, і підвищення T_K , вірогідно, вдасться досягти, коли лантан замінити хімічно подібним елементом, але з меншим атомним радіусом. Він спробував взяти ітрій. Результат виявився запаморочливим — критична температура підстригнула до 92 К! То було величезним досягненням (рис. 1).

Пріоритет цього нового відкриття належить як групі К. Чу (Гюстонський університет), так і групі М. Ву (університет штату Алабама в Гансвіллі). Між ними були добрі наукові контакти. Незалежно до нього дійшли, судячи з публікацій,

декілька груп дослідників з інших лабораторій світу. А за місяць-два відкриття було дуже швидко підтверджене повсюдно.

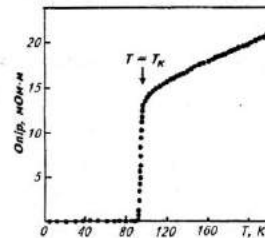


Рис. 1. Питомий опір зразка $YBa_2Cu_3O_{7.8}$ як функція температури

Розпочалася справжнісінька надпровідникова веремія.

Результати, які отримала група К. Чу та група фірми Bell Laboratories, були опубліковані на першій сторінці газети "Нью-Йорк Таймс" за 31 грудня 1986 р. З цього моменту інформаційний зв'язок здійснювався вже не лише через наукові журнали мобільного типу (Phys. Rev. Letters, Japan Journ. Appl. Phys. Letters), а й через щоденну пресу (INTERNET тоді ще не був так поширений). Такі повідомлення публікувалися блискавично: у газеті — наступного дня або у вечірньому випуску, у мобільних журналах — за декілька тижнів. Бо йшлося про закріплення пріоритету.

Отже, мова йде про відкриття надпровідної кераміки $YBa_2Cu_3O_{7.8}$. Індекс δ характеризує вміст вакансій кисню. Цей матеріал став класичним високотемпературним надпровідником, який за сукупністю властивостей є неперевершеним і досі.

Чи був успіх К. Чу і М. Ву випадковим? Так, це була щаслива випадковість, бо, як згодом експериментально з'ясувалося, T_K практично не залежить від зміни атомного радіуса рідкісноземельного компонента кераміки. Інтуїтивна здогадка була хибною, хоч подарувала дослідникам величезний успіх.

Багатофазну ітрієву кераміку називають "фазою один-два-три", що відповідає кількісному співвідношенню компонентів Y, Ba та Cu.

Робилися спроби ще піднести T_K , стискаючи зразок, але, на відміну від лантан-барієвих сполук, у кераміці 1-2-3 тиск мало впливає на T_K .

Цікавим був початок 1988 року. У тижневику "Japan Economic News" за 22 січня повідомлялося, що група Гіросі Маєди в лабораторії "Цукаба" японського Національного дослідного інституту металів виявила перехід у надпровід-

⁶ Цей ефект полягає в тому, що надпровідник повністю виштовхує магнітне поле, за умови, що напруженість цього поля менша за критичну.



ний стан з $T_K = 105$ K у системі Bi-Ca-Sr-Cu-O, а 26 січня газета "Нью-Йорк Таймс" сповістила, що в Гюстонському університеті (лабораторія К. Чу) зафіксовано надпровідність з $T_K = 120$ K у системі Bi-Al-Ca-Sr-Cu-O.

Детально про ці системи мова йшла на міжнародній конференції з надпровідності, у Лос-Анджелесі з 15 до 18 лютого 1988 р. За декілька днів, у понеділок 22 лютого на іншому міжнародному конгресі в Гюстоні Шенг та Германн (Арканзаський університет, США) вперше оголосили про систему Tl-Ca-Ba-Cu-O з $T_K = 106$ K, яку вони синтезували, а за тиждень Пол Грант (IBM, Каліфорнія) сповістив про талієву систему⁷ з $T_K = 125$ K.

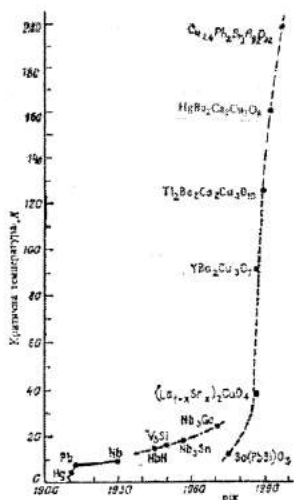


Рис. 2. Хронологія зростання критичної температури різних надпровідників: суцільна лінія — окремі елементи; пунктир — сплави та сполуки; штрихова лінія — оксидні надпровідники

Отож відкриття ВТНП можна датувати безрезном 1986 р., хоч "найурожайнішими" виявилися наступні два роки.

На кінець 1988 р. загальна кількість експериментальних, теоретичних і технологічних праць, присвячених дослідженням ВТНП, становили приблизно 10 тисяч.

Після 1989 р. підвищення T_K вдалося досягти у матеріалах $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ та $Cu_{24}Pb_2Sr_2Ag_2O_{32}$ (див. рис. 2). Хоч слід зауважити, що $T_K = 164$ K для ртутьвмісної сполуки $HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$ вдалося досягти лише при сильному гідростатичному стискуванні зразка ($P = 31$ кбар), для нестис-

нутого зразка — $T_K = 134$ K. Дані для кераміки $Cu_{24}Pb_2Sr_2Ag_2O_{32}$ ($T_K = 200$ K) ще вимагають підтвердження.

4. Що таке наукова сенсація та як її сприймають?

Ось як описувала американська газета "International Herald Tribune" за 20 березня 1987 р. емоційне засідання Американського фізичного товариства, що відбувалося в Нью-Йорку з 18 до 19 березня і тривало цілу ніч: "Фізики з трьох континентів просто-таки атакували один з нью-йоркських готелів, щоб потрапити на терміново скликану конференцію у зв'язку з низкою сенсаційних відкриттів, які, можливо, започаткують цілий каскад комерційних проектів в електроніці та електротехніці.

Коли надвечір у середу відчинили двері конференцзали, туди увірвався справжнісінький натовп вишуканої вченої публіки, яка цієї миті геть утратила свою професорську гідність. За якихось три хвилини публіка заповнила усі 1200 місць для сидіння, після чого ще близько тисячі фізиків набилося в проходах поміж рядами та біля стін зали. Сотні інших проштовхувались до дверей, щоб увійти...

Засідання тривало цілу ніч. Доповіді транслювали телемонітори, що їх розмістили в готельних коридорах, біля яких скупчились учені, яким не вдалося потрапити на засідання. Розійшлись о шостій ранку..." На цьому засіданні найбільша увага була прикута до повідомлення групи Чу з Гюстонського університету.

Хвиля "надпровідної веремі" пронеслася й по інших наукових центрах світу.

В одній з центральних московських газет за 1987 р. журналістський репортаж про науковий семінар розпочинався так: "Браму Інституту фізичних проблем АН того дня довелося зачинити наглухо. Дружинники притримували натовп фізиків, які прагнули проникнути туди. Зала засідань, розрахована на двісті осіб, була набита вщерть... Тривала п'ята година сесії поспіль, замість звичних двох годин. У холі (сюди також не пробитися) встановили репродуктор..."

Хоч і з меншим ажіотажем, але значний інтерес науковців та студентів викликав подібний семінар у травні 1987 р. і на фізичному факультеті Львівського університету імені Івана Франка. Цей семінар проходив у славнозвісній Великій фізичній аудиторії. Згодом на різних



кафедрах факультету у співдружності з ученими інших наукових центрів розпочалися систематичні дослідження високотемпературних надпровідників. Результати технологічних розробок⁸, оптико-спектральних, кристалоструктурних та магнітних досліджень відображені у десятках наших публікацій.

Коли в Японії 1987 р. відбувалася традиційна 18-та міжнародна конференція з фізики низьких температур, де вперше на такому широкому форумі обговорювали проблеми високотемпературної надпровідності, то зал на 2500 місць був переповнений. Характерно, що серед зацікавлених учасників було понад 40 % представників промислових фірм різних країн.

Подібні “резонанси” наукові відкриття за останнє півстоліття спостерігалися неодноразово: відкриття структури генів, винахід лазерів, відкриття пульсарів, винахід транзистора... Такі “малі наукові революції” мають свої характерні ознаки і закономірності протікання, але це тема іншої розмови (з галузі наукознавства). Все ж, одну, майже анекдотичну історію, про яку розповів акад. Віталій Гінзбург, варто пригадати.

Було це цього ж 1987 р. До редакції журналу “The Physical Review” керівник потужної дослідницької групи приніс статтю про відкриття нового високотемпературного надпровідника. Не надсилав поштою, а приніс і настійно домагався, щоб рецензенти, які ознайомляться з текстом, дали письмове підтвердження, що не розголосять інформації доти, поки стаття не вийде з друку. Щобільше, як згодом з’ясувалося, він навмисне змінив формулу речовини, виправивши її лише в останній коректурі перед тиражуванням журналу. Та найутішнішим було те, що речовина з перевернутою хімічною формулою також виявилася високотемпературним надпровідником...

У цій розмові не можемо не згадати і т. зв. хибних відкриттів. Їх було сотні (повідомлення на конференціях, публікації у мас-медіа), коли сповіщалося про надпровідність при кімнатній температурі і навіть вищих.

Ось одне з таких поспішних повідомлень (Неделя. 1987. № 16): “Коли готувався номер, стало відомо, що групою хіміків та фізиків Московського університету під керівництвом д-ра

фіз.-мат. наук К. Лихарева отримано новий різновид металокераміки, у якому виявлено ознаки надпровідності при кімнатній температурі”.

Остання з розряду подібних сенсацій прозвучала недавно, коли INTERNET і радіостанція “Свобода” 19 грудня 1996 р. сповістили про синтез нового ВТНП з критичною температурою, вищою від кімнатної (м. Ліон, Франція). До складу кераміки, як повідомлялося, входять Li-Be-N. Це привернуло увагу наукової громадськості, і у деяких лабораторіях намагаються повторити цей результат, зважаючи на те, що серед сполук вказаного складу деякі фази відомі як перовськітоподібні (напр., Li_2BeH_4). Але вже минуло два роки, а підтверджень ще немає.

Нобелівська премія з фізики за 1987 рік, присуджена Й. Беднорцу і К. Мюллеру “за відкриття у галузі надпровідності керамічних матеріалів”, — щось виняткове. Справді, на пам’яті фізиків не було такого відкриття, яке за декілька місяців викликало б подібний ентузіазм серед учених. Справжній науково-сенсаційний бум, наче хвиля цунамі, раптом охопив фізику в 1987 р.⁹ Нині Й. Г. Беднорц і К. А. Мюллер працюють у науково-дослідній лабораторії фірми ІВМ у Рюшліконі (Швейцарія).

Нас цікавить, як відгукнувся на ці події патріарх надпровідності Джон Бардін. На конгресі в Берклі у червні 1987 р. він висловив декілька порад, які звучали врівноважено й природно, як то завше буває у мудрих людей. Бардін сказав: *“Надто ризикованим є намагання безпосередньо порівнювати експериментальні дані з БКШ-теорією чи іншими теоретичними моделями. Правильніший шлях — достовірно визначити з експериментів несуперечливий набір параметрів ВТНП. Іншими словами, маємо новий простір експериментальних параметрів та теоретичних моделей, що виходить за рамки попереднього стану. І в цьому просторі згодом визріють більш загальні концепції.”*

Досвід минулих дванадцяти років підтверджує думки Джона Бардіна.

Ярослав Довгий,

професор Львівського державного університету імені Івана Франка

⁸ Керамічні, монокристалічні та плівкові зразки ВТНП, одержані Львівськими технологіями за керівництвом Р.В.Луцива, за якістю не поступаються зразкам визначених наукових центрів.

⁹ Можливо, причиною було й те, що сподіваних сенсаційних відкриттів, на які чекали у галузі керованого термоядерного синтезу, як і у біофізиці та інших суміжних галузях наук, не з’являлося.

Теоретичні завдання обласної олімпіади з фізики школярів Львівщини 1999 р.

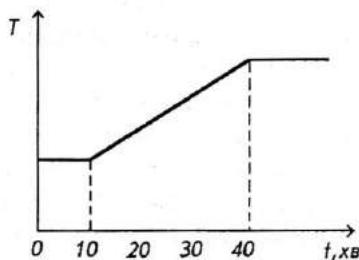
8 клас

Задача 1.

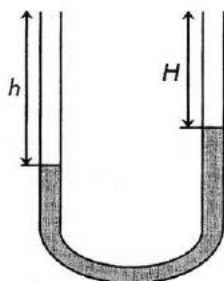
1. По колу стадіона бігають назустріч двоє хлопців. Швидкість одного з них в k раз більша від швидкості другого. Щоразу хлопці зустрічаються на відстані L від попереднього місця зустрічі. Визначіть довжину кола стадіона.

Задача 2.

У калориметр помістили суміш води і льоду і рівномірно нагрівають її. Графік залежності температури в калориметрі від часу зображено на рисунку. Визначіть початкове співвідношення мас води і льоду. А коли температура почне знову змінюватись?


Задача 3.

У U-подібну трубку сталого перерізу налили воду. Після цього в ліве коліно налили рідину з меншою густиною по вінця трубки як зображено на рисунку. В праве коліно кинули кусок дерева масою m . Визначіть об'єм рідини, яка вилетіть.


Задача 4.

Водолаз знайшов золотий скарб і зважив його відразу під водою, користуючись терезами із сталевими гирями. Він отримав 643 г. Однак,

коли водолаз продавав скарб, то його звинуватили в брехні, заявивши, що золота набагато менше. Скільки золота було насправді?

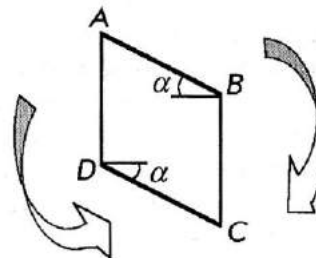
Задача 5.

Автомобіль, маса якого 1,5 т, перевозить по горизонтальній дорозі 500 кг вантажу, щохвилини витрачаючи 15 г бензину. Визначіть швидкість автомобіля, якщо к. к. д. двигуна 30 %, а коефіцієнт тертя — 0,01.

9 клас

Задача 1.

Два саночки змагаються з'їжджаючи з гори різними маршрутами (див. рис.). Відрізки траси $AB=BC=AD=DC=L$. Причому AD і BC — вертикальні, а AB і DC нахилені під кутом $\alpha \neq 0$ до горизонту. Який із спортсменів переможе?


Задача 2.

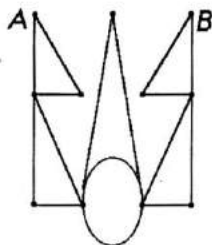
З гармати вистрілюють ядром масою M , що розривається на поверхні землі і утворює лунку радіусом R . Уламки ядра мають однакову масу і рівномірно розлітаються в усі боки з однаковою швидкістю v . Визначіть масу всіх уламків, що випали поза лункою.

Задача 3.

Яку силу потрібно прикласти людині, щоб пересунути на інше місце вантаж, якщо коефіцієнт тертя людини об підлогу і вантажу об підлогу однаковий і дорівнює $\mu = 0,866$? Маса людини $m = 100$ кг, маса вантажу $M = 300$ кг.

Задача 4.

Розрахувати опір R_{AB} фігури, скрученої із дроту за умови, що опір окремих ділянок дроту між з'єднанням дорівнює R .

**Задача 5.**

Скільки своїх зображень можна побачити, якщо стати перед двома плоскими дзеркалами, які розташовані під гострим кутом одне до одного?

10 клас**Задача 1.**

Спортивний автомобіль масою $m = 600$ кг рухається уздовж екватора зі сходу на захід, а потім з тією самою швидкістю $v = 600$ км/год відносно Землі — навпаки в напрямку з заходу на схід. Знайдіть різницю сил тиску автомобіля на поверхню шосе в цих випадках.

Задача 2.

Два однакових димоходи печей заввишки 50 м і площею поперечного перерізу $0,5$ м² зверху накривають дошкою, вагою якої можна знехтувати. Температури повітря у димоходах дорівнюють $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 77^\circ\text{C}$, а зовнішня температура $t = 0^\circ\text{C}$. Якої мінімальної маси вантаж повинен бути прикріплений до центра дошки, щоб дим не виходив з димоходів? Атмосферний тиск нормальний.

Задача 3.

Гумова куля, яка вміщує 10^{-4} кг водню при тиску $1,05$ атм., піднімається в кімнаті до стелі. Знайдіть площу дотику гумової кулі до стелі. Масою оболонки кулі знехтувати.

Задача 4.

Дві закриті зверху циліндричні посудини А і В з об'ємами V кожна сполучені внизу трубкою з краном. У посудині А біля верхньої стінки знаходиться поршень. При закритому крані в посудині А міститься одноатомний газ, температура якого дорівнює 300 К, а посудина В порожня.

Кран відкручують і поршень у посудині А опускається так, що тиск в ній залишається сталим. Знайти кінцеву температуру газу. Об'ємом трубки та тертям під час руху поршня знехтуйте. Зважте на те, що посудини і поршень теплоізовані.

Задача 5.

Електрони, які на нескінченності мають швидкість v , потрапляють на металічну ізовану кулю радіусом R . На скільки підвищиться температура кулі, якщо її теплоємність дорівнює C ?

11 клас**Задача 1.**

Між стінкою і кубом маси $M = 10$ кг ковзає на гладкому столі пружна кулька маси $m = 0,1$ г. Швидкість кульки, коли куб був нерухомий, рівна $v_0 = 100$ м/с. Знайдіть швидкість куба тоді, коли він буде удвічі далі від стінки, ніж спочатку.

Задача 2.

У кубічній посудині $V = 1$ л знаходиться гелій при температурі $t = 300$ К. Будемо спостерігати за однією молекулою. Оцініть скільки разів вона вдариться у верхню стінку посудини за час $t = 1$ сек?

Задача 3.

Розрахуйте силу взаємодії пластин плоского конденсатора. Площа пластин — S , відстань між пластинами — d , напруга на конденсаторі — U . Як зміниться ця сила, якщо внести в конденсатор діелектричну пластинку з діелектричною проникністю ε шириною $d_1 < d$ у випадках, коли:

- конденсатор від'єднаний від акумуляторної батареї?
- конденсатор під'єднаний до акумуляторної батареї?

Задача 4.

На передню грань плоскопаралельної пластинки, виготовленої зі скла з показником заломлення n , падає збіжний світловий пучок, що має форму конуса з кутом при вершині γ . Діаметр освітленої плями на передній грані пластинки D . При якій товщині пластинки діаметр вихідної плями дорівнюватиме $D/2$?

Задача 5.

З невагомих стержнів завдовжки l і $2l$ складена конструкція (рис. 1). Тертя у шарнірах відсутнє. У середню ланку вставили невагому пружину, після чого конструкція набула форми, зображеної на (рис. 1) з відомим кутом α . Потім знизу підвісили вантаж, і кут став рівним β (рис. 2). Яким буде період коливань, якщо штовхнути вантаж у вертикальному напрямку?

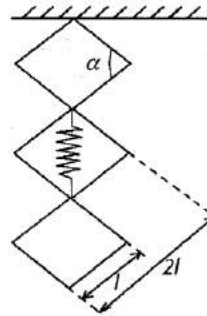


Рис. 1.

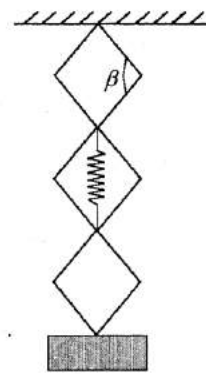


Рис. 2.

Вибрані задачі відкритої фізико-математичної олімпіади Рішельєвського лицю (м. Одеса)

10 клас

Задача 1.

У суперекспресі Харків–Одеса, який рухається зі швидкістю 360 км/год, двічі стріляє терорист. Обидві кулі було випущено з близької відстані з однієї і тієї ж гвинтівки під прямим кутом до напрямку руху поїзда. Одна з них наскрізь пробила обидві стінки вантажного вагона і полетіла далі, майже не втративши швидкості. Згодом експерти встановили, що отвори зміщені один відносно одного за напрямком руху поїзда на $s = 50$ см. Інша куля влучила у броньований вагон. Вона пробила його ближню стінку і, не зачепивши нікого, застрягла у подальшій стінці, заглибившись в неї на $1/8$ товщини стінки.

а) Якою була початкова швидкість кулі v_0 , якщо ширина вагонів $l = 3$ м?

б) На скільки зміщені один відносно одного за напрямком руху поїзда отвори в стінках броньованого вагона?

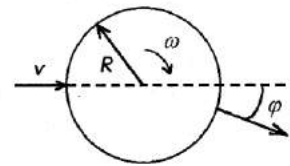
в) З якою швидкістю v_1 відносно Землі куля рухалась всередині броньованого вагона?

Задача 2.

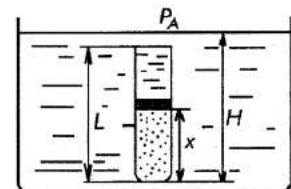
На горі стоїть гармата, розміщена горизонтально відносно Землі. Її ствол орієнтований на північ уздовж меридіана. З неї вистрілили з такою швидкістю, що снаряд почав обертатись навколо Землі по круговій орбіті (тертям із повітрям знехтувати). Якої максимальної географічної широти він досягне, якщо постріл здійснили в точці зі широтою 30° ?

Задача 3.

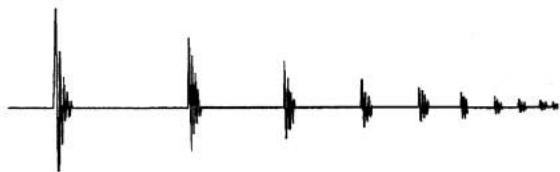
Невелике тіло потрапляє на круглу горизонтальну платформу радіуса R , що обертається з постійною кутовою швидкістю ω . Початкова швидкість тіла v горизонтальна і спрямована до центра платформи. Знайти кут відхилення тіла від початкового напрямку руху. Відомо, що під час руху цього ж тіла уздовж діаметра нерухомої платформи його швидкість змінюється на δv . Вважати, що $\delta v \ll v$ і $\omega R \ll v$.


Задача 4.

Пробірку завдовжки l заповнили воднем під тиском P_0 , закрили легким рухомим поршнем і помістили у посудину із ртуттю на глибину H . Визначити положення поршня x . Густина труті ρ , атмосферний тиск P_A .


Задача 5.

На осцилограмі зображено звук падіння м'ячика для настільного теніса на поверхню тенісного стола. Визначіть значення коефіцієнта відновлення при ударі м'ячика об стіл максимальною кількістю методів. Який з методів, на Ваш погляд, забезпечує найбільшу точність?



Довідка:

Коефіцієнт відновлення k в теорії удару — величина, що залежить від фізичних властивостей тіл, що зударяються. Вона визначає, яка частина нормальної щодо спільної межі тіл складової їх відносної швидкості зберігається після удару.

11 клас

Задача 1.

Нелінійний елемент А, вольтамперна характеристика якого зображена на рис. а, підключений до джерела постійної напруги U_0 , як зображено на рис. б. Опір резисторів $R_1 = R_2 = 40$ Ом. Побудуйте графік залежності сили струму I через нелінійний елемент кола від напруги джерела U_0 .

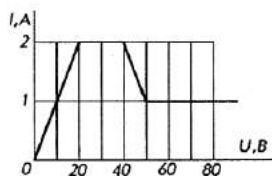


Рис. а

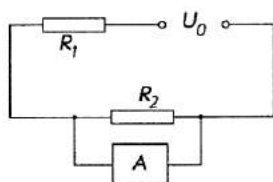


Рис. б

Задача 2.

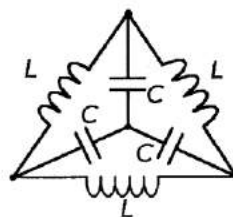
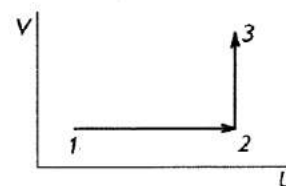
Визначіть потенціальну енергію взаємодії молекул 1 кг води. Якщо потрібно, то можна скористатися даними таблиці.

Задача 3.

Куля, що летить горизонтально, пробиває наскрізь уздовж діаметра однорідну важку кульку, яка підвішена на невагомій нерозтяжній нитці. Після прольоту кулі максимальний кут відхилення нитки становить 90° . Якщо ця ж куля пробиває кульку, зроблену з того ж матеріалу, діаметром у 2 або 3 рази більшим від першої, то кут відхилення нитки відповідно дорівнює 21° і 10° . Яким буде кут відхилення нитки, якщо куля потрапить у кульку діаметром у 6 разів більший від початкової? Зміщенням кульки під час польоту кулі і опором повітря можна знехтувати. Силу тертя між кулею і матеріалом кульки вважати не залежною від швидкості кулі.

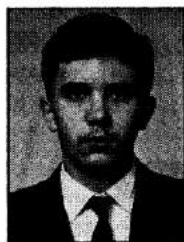
Задача 4.

Чи можна, зображений на рисунку в координатах об'єм-внутрішня енергія, процес в ідеальному газі замкнути, здійснивши рівноважний адіабатичний перехід із стану 3 у стан 1?



Задача 5.

На яких частотах може резонувати коливальна система, схема якої зображена на рисунку?



Андрій Невідомський

Автор статті “Незвичайний маятник” — студент III курсу фізичного факультету Львівського державного університету імені Івана Франка, неоднократний учасник обласної, Всеукраїнської, Соросівської олімпіад з фізики.

Цікавиться проблемами сучасної теоретичної фізики.
Захоплюється програмуванням, шахами, любить філософію.
Одне з найулюбленіших захоплень — мандрівки Карпатами.



ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЛЬВІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

Напередодні вступних іспитів ми звернулись із запитаннями, які цікавлять наших читачів, до декана фізичного факультету Львівського державного університету імені Івана Франка, професора Йосипа Стахіри.

Кор. — З чого почалася історія фізики у Львівському університеті?

Стахіра Й. — Фізичні дослідження у Львівському університеті почали проводити з 1869 року, коли на філософському факультеті було створено кафедру математичної фізики. Її розширили 1872 року після створення фізичного відділу, який мав дві кафедри — теоретичної та експериментальної фізики. Саме з цих кафедр бере початок фізичний факультет, який був створений 1953 року. У ХХ сторіччі світову славу Львівському університетові принесли такі відомі фізики, як М.Смолуховський, В.Мілянчук, С.Лорія, А.Лубченко, Я.Дутчак. Випускниками фізичного факультету були директор інституту фізики НАН України академік М.Бродин, директор інституту фізики конденсованих систем НАН України академік І.Юхновський, член-кореспондент НАН України І.Стасюк та інші.

Сьогодні фізичний факультет — це колектив висококваліфікованих педагогів, сучасні аудиторії та лабораторії, численні наукові контакти з ученими усього світу, тісні зв'язки з підприємствами.

Кор. — Яких фахівців сьогодні готує фізичний факультет?

Стахіра Й. — Сьогодні фізичний факультет Львівського державного університету імені Івана Франка готує фахівців за трьома спеціальностями: фізика, радіофізика і електроніка, прикладна фізика. Щороку факультет набирає на навчання за цими спеціальностями 170 студентів, частина з яких здобуває кваліфікацію педагога. Враховуючи потреби України, студенти спеціалізуються на 9 кафедрах факультету: астрофізики, теоретичної фізики, фізики металів, експериментальної фізики, фізики напівпровідників, загальної фізики, нелінійної оптики, радіофізики, радіоелектронного матеріалознавства. Кожна кафедра є осередком навчальної і наукової роботи за певними напрямками у фізиці, до яких належать як традиційні (теоретична фізика, фізика напівпровідників та діелектриків, оптика і спектроскопія, фізика металів, фізика конденсованих систем, фізика низьких температур, фізична електроніка, теорія коливальних і автоматичного регулювання, твердотільна електроніка, радіоелектронне матеріалознавство), так і нещодавно запроваджені спеціалізації (астрофізика, фізика медико-біологічних систем, науково-технічний менеджмент і маркетинг, радіаційна фізика і екологія, оптоелектронна інформатика, лазери і лазерна техніка, комп'ютерні технології у фізиці, фізико-інформаційні методи дослідження медико-біологічних систем, науково-технічна експертиза, комп'ютерні методи в електроніці, оптико-фізичні методи в біології і медицині).

Кор. — Які перспективи мають Ваші випускники?

Стахіра Й. — Студентів уже з молодших курсів залучаємо до виконання наукових робіт. Завершуючи навчання в університеті, деякі студенти вже мають публікації у наукових журналах, у тому числі і в журналі "Світ фізики". Щороку 20-25 найкращих випускників приймаємо в аспірантуру. За роки свого існування факультет підготував майже чотири тисячі спеціалістів. Понад 20 випускників стали лауреатами Державних премій України і колишнього СРСР, понад 50 — докторами фізико-математичних наук, майже 400 — кандидатами наук. Випускники факультету працюють у народному господарстві, у наукових, освітніх установах. Серед них є керівники науково-виробничих об'єднань, директори академічних інститутів, ректори вищих навчальних закладів, заслужені учителі, державні діячі, підприємці.

Кор. — Дякуємо Вам за розмову. Бажаємо, щоб цього літа Вашими студентами стали здібні та допитливі випускники шкіл. Бажаємо успіхів у навчанні Вашим студентам, нехай вони примножують кращі традиції факультету і Львівського університету.



Одним із типів класичних задач, алгоритмом розв'язування яких повинні володіти учні, для котрих фізика є профільюючим предметом, а також учасники різного роду рівня фізичних олімпіад, є задачі на безмежні ланцюжки опорів, смностей, індуктивностей.

Розглянемо класифікацію таких задач, систематику та особливості їх розв'язування. Зважаючи на геометрію схеми, задачі на безмежний ланцюжок ділитимемо на три типи:

1) класичні або лінійні; 2) площинні або двомірні; 3) просторові або тримірні.

Нескінченний ланцюжок

Задача 1.

Знайти загальний опір нескінченного ланцюжка R_0 , якщо всі опори однакові й рівні r (рис. 1).

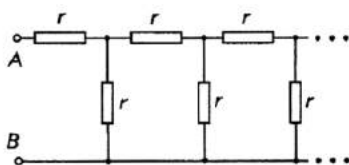


Рис. 1.

Існують два принципово різні способи розв'язування цієї задачі. Перший, складніший — математичний.

Згідно зі схемою (рис. 1) бачимо, що безмежний ланцюжок утворений повторенням ланки (рис. 2), опір якої дорівнює:

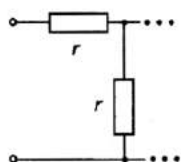


Рис. 2.

$$R_1 = r + \frac{1}{1} r.$$

Відповідно опір

двох таких ланок: $R_2 = r + \frac{2}{3} r$,

трьох ланок: $R_3 = r + \frac{5}{8} r$,

чотирьох ланок: $R_4 = r + \frac{13}{21} r \dots$

Знайдемо, до якого значення прямує опір n ланок, якщо n прямує до безмежності. Для цього розглянемо наступну послідовність $\{x_n\}$:

$$\frac{1}{1}; \frac{2}{3}; \frac{5}{8}; \frac{13}{21}; \dots$$

Порівняємо її з послідовністю Фібоначчі $\{U_n\}$: 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; ..., в якій кожен з наступних членів є сумою двох попередніх. Зіставляючи $\{x_n\}$ та $\{U_n\}$ можемо зробити висновок, що у послідовності $\{x_n\}$ чисельник є непарним членом послідовності Фібоначчі, а знаменник — наступним парним. Як відомо, n -ий член послідовності Фібоначчі обчислюється за співвідношення:

$$U_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right].$$

Аналогічно, $n-1$ член обчислюється так:

$$U_{n-1} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{n-1} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{n-1} \right].$$

Знайдемо границю послідовності $\{x_n\}$, якщо n прямує до безмежності.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{U_{n-1}}{U_n} =$$

$$= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\frac{1}{\sqrt{5}} \left[\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{n-1} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{n-1} \right]}{\frac{1}{\sqrt{5}} \left[\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right]} =$$

$$= 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(1+\sqrt{5})^{n-1} - (1-\sqrt{5})^{n-1}}{(1+\sqrt{5})^n - (1-\sqrt{5})^n} =$$



$$\begin{aligned}
 &= 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{1 + \sqrt{5}} - \frac{1}{1 + \sqrt{5}} \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{1 + \sqrt{5}} \right)^{n-1} \\
 &= \frac{2}{1 + \sqrt{5}} \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{1 + \sqrt{5}} \right)^{n-1}}{1 - \left(\frac{1 - \sqrt{5}}{1 + \sqrt{5}} \right)^n} = \\
 &= \frac{2}{1 + \sqrt{5}} = \frac{\sqrt{5} - 1}{2}.
 \end{aligned}$$

Звернемо увагу читачів на зміст результату $\frac{\sqrt{5} - 1}{2} \approx 0,618$. Пропорція $\frac{b}{a} = 0,618$ відома з давніх часів як результат ділення відрізка довжиною $a + b$ на дві нерівні частини a і b , $a > b$, що задовільняють рівність $\frac{b}{a} = \frac{a}{a + b}$. Леонардо да Вінчі назвав цю пропорцію *золотим перерізом*. Різноманітні використання золотого перерізу відомі у архітектурі та живописі.

Отже, опір R_0 нескінченного ланцюжка дорівнює:

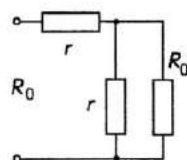
$$R_0 = r + r \lim_{n \rightarrow \infty} \{x_n\} = r \left(1 + \frac{\sqrt{5} - 1}{2} \right),$$

тобто $R_0 = r \cdot \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$.

Інший спосіб розв'язування цієї задачі дещо легший. Фізики запозичили його у героя фантастичного оповідання С. Лема, зоряного мандрівника Іона Тихого¹. Він зовсім по іншому розглядає нескінченність під час розв'язування проблеми, яка постає перед ним. *Адміністрації готелю з нескінченною кількістю номерів, усі з яких зайняті, потрібно поселити ще одного*

мандрівника. Станіслав Лем устами свого героя пропонує наступний вихід із даної ситуації. Усім мешканцям пропонують перейти у кімнату з наступним порядковим номером. Усі мешканці готелю залишаються з помешканням, а кімната № 1 стає вільною. І справді, якщо від безмежного ланцюжка відняти першу ланку, то кількість ланок, що залишилися знову, дорівнюватиме безмежності.

Щодо нашої задачі схема (рис. 1) набуває такого вигляду (рис. 3). Загальний опір шукаємо з рівняння



$$R_0 = \frac{R_0 r}{R_0 + r} + r.$$

Рис. 3.

Після спрощення отримуємо квадратне рівняння $R_0^2 - R_0 r - r^2 = 0$, додатний корінь якого задовольняє умову задачі:

$$R_0 = \frac{r(\sqrt{5} + 1)}{2}.$$

Отже, результати математичного та фізичного розв'язків задачі співпадають. Надалі будемо користуватись простішим та лаконічнішим способом розв'язування задач.

Задача 2.

Знайти загальний опір R_0 нескінченного ланцюжка (рис. 4) між точками А і В.

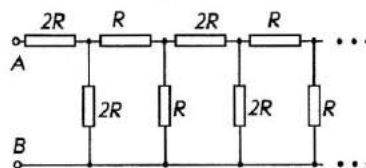


Рис. 4.

¹ Детальніше про метод Іона Тихого можна прочитати у посібнику для вчителя Шапіро А.І., Бодик В.А. Оригінальні методи розв'язування фізичних задач.



Легко бачити, що безмежний ланцюжок утворений повторенням двох ланок (рис. 5). Отже, загальний опір R_0 шукатимемо за схемою (рис. 6).

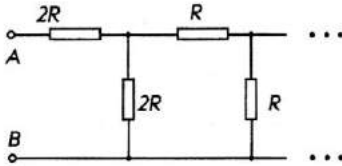


Рис. 5.

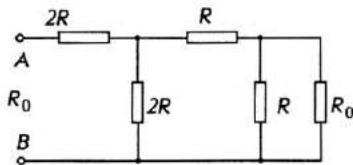


Рис. 6.

$$\begin{aligned} \frac{R_0 R}{R_0 + R} + R &= \frac{R_0 R + R_0 R + R^2}{R_0 + R} = \\ &= \frac{2R_0 R + R^2}{R_0 + R} = \frac{R(2R_0 + R)}{R_0 + R}, \\ \frac{1}{2R} + \frac{R_0 + R}{R(2R_0 + R)} &= \\ &= \frac{2R_0 + R + 2R_0 + 2R}{2R(2R_0 + R)} = \frac{4R_0 + 3R}{2R(2R_0 + R)}, \\ 2R + \frac{2R(2R_0 + R)}{4R_0 + 3R} &= \\ &= 2R \cdot \frac{4R_0 + 3R + 2R_0 + R}{4R_0 + 3R} = \\ &= 2R \cdot \frac{6R_0 + 4R}{4R_0 + 3R}, \\ R_0 &= 4R \cdot \frac{3R_0 + 4R}{4R_0 + 3R}. \end{aligned}$$

Запишемо це рівняння у вигляді квадратного:

$$4R_0^2 - 9R_0 R - 8R^2 = 0.$$

Додатний розв'язок цього рівняння задовольняє умові задачі.

$$R_0 = R \frac{9 + \sqrt{209}}{8}.$$

Задача 3.

Знайти загальний опір R_0 нескінченного ланцюжка згідно зі схемою (рис. 7) між точками A і B.

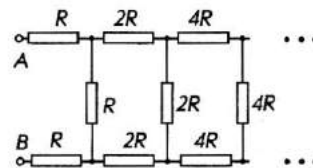


Рис. 7.

Якщо від цього ланцюжка відокремити першу ланку (рис. 8), то опір безмежного ланцюжка, що залишився, збільшиться вдвічі.

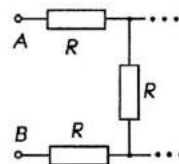


Рис. 8.

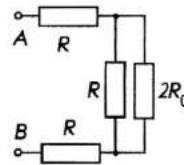


Рис. 9.

Загальний опір R_0 шукатимемо за такою схемою (рис. 9):

$$\frac{2R_0 R}{2R_0 + R} + 2R = R_0.$$

Це рівняння зводимо до квадратного:

$$2R_0^2 - 2RR_0 - 2R^2 = 0, \text{ додатний розв'язок}$$

якого $R_0 = R \frac{5 + \sqrt{41}}{4}$ задовольняє умові задачі.



Задача 4.

Знайти загальний опір R_0 нескінченного ланцюжка (рис. 10) між точками A і B, враховуючи, що діагональні провідники не перетинаються.

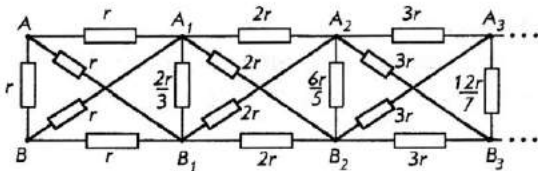


Рис. 10.

Згідно зі симетрією потенціали точок A_i і B_i рівні. Отже, струм між ними не буде протікати і для розрахунку опору R_0 між точками A і B можна використати таку схему (рис. 11, а), та її еквівалентну (рис. 11, б).

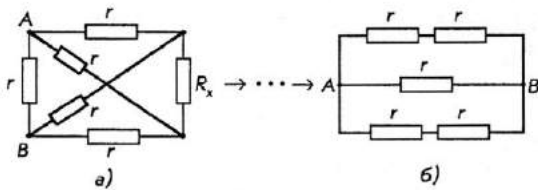


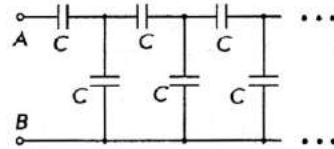
Рис. 11.

Шуканий опір $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{r} + \frac{1}{2r} + \frac{1}{2r}$, $R_0 = \frac{r}{2}$.

Задача 5.

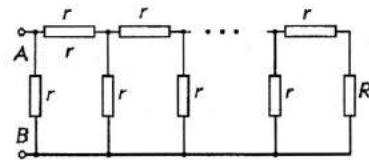
Спробуйте свої сили!

а) Визначить ємність системи конденсаторів.



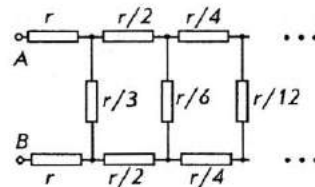
Відповідь: $C_{\text{заг}} = \frac{\sqrt{5}-1}{2} C$.

б) Прямоку значенні R опір ланцюжка не залежить від кількості ланок?



Відповідь: $R = \frac{\sqrt{5}-1}{2} r$.

в) Знайдіть загальний опір нескінченного ланцюжка.



Відповідь: $R = \frac{5+\sqrt{73}}{6} r$.

Ліля Волошин,
Львівський ліцей менеджменту

*Найбільше частя в творчій роботі,
коли існує відкриття, нехай найменше,
але зроблене лише тобою.*

Мітинська



VII ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ТУРНІР ЮНИХ ФІЗИКІВ

Завершився VII Всеукраїнський турнір юних фізиків. Позаду залишилися підготовка команд, регіональні турніри, турботи і хвилювання організаторів. Дуже багато обставин не сприяли турнірові: епідемія грипу, карантин у багатьох містах України, перенесення строків обласних олімпіад, відсутність фінансів.

Та все ж таки турнір відбувся! 12 команд із Одеси і Кієва, Харкова і Чернівців, Луганська і Сум, Луцька, Ніжина і Херсону з 25 лютого до 2 березня жили в атмосфері високого творчого напруження й азарту. А фінал турніру ледве не завершився залізненням переможців на поїзд — так захопились не тільки учасники, але й ведучий фінального бою.

Турнір відбувався у мальовничому куточку Харківщини, в санаторії “Березівські мінеральні води”. Чисте повітря, цілюща вода, чудова ідальня, басейн... Але напруження боротьби було таке велике, що не всім вдалося побувати у басейні чи біля цілющого джерела. Уже чвертьфінали показали, що всі команди приїхали із серйозними намірами і добре підготовленими. Лише одна команда (Рішельєвського ліцею) пройшла чвертьфінальні бої без поразок. За нею у рейтинговому списку були команди Фізико-математичного ліцею № 27 м. Харкова і Українського фізико-математичного ліцею Київського університету. У півфіналі саме ці команди довели, що вони найсильніші. Кожна з них впевнено зайняла пер-

ше місце у своїй півфінальній групі і вийшла у фінал. Другі місця у півфінальних групах зайняли дві харківські команди (Академічна гімназія № 45 і багатопрофільний ліцей № 89) і команда обласного педагогічного ліцею м. Ніжина. Ці три команди нагороджені дипломами III ступеня. Успіх юних фізиків із Ніжина потрібно відзначити особливо — адже ця команда складалася усього із двох осіб.

Напружена і дуже довга боротьба у фіналі завершилася перемогою команди Рішельєвського ліцею. Зовсім мало відстала від неї команда ФМЛ № 27 м. Харкова. Цим двом командам вручені дипломи I ступеня. Перехідний кубок ТЮФ, запроваджений організаторами турніру (ФМЛ № 27), завоювала команда Рішельєвського ліцею. Дипломом II ступеня нагороджена команда УФМЛ КУ.

Підбито підсумки турніру і в особистому заліку. Перше місце і премію імені проф. В.В.Сердюка присуджено Миколі Андріанову (м. Одеса, Рішельєвський ліцей). Друге місце — Олексіїві Коваленкові (м. Харків, ФМЛ № 27). Дипломи III ступеня отримали харків'яни Ігор Танатаров (ФМЛ № 27), Артем Бородавка (ліцей № 89) та киянин Дмитро Перевезенцев (УФМЛ КУ).

Що ж, турнір завершився, його учасники прощались з Харковом, а їхні думки були налаштовані на нові зустрічі, нові цікаві і захопливі завдання.

ЗАДАЧІ ФІНАЛУ VII ВСЕУКРАЇНСЬКОГО ТУРНІРУ ЮНИХ ФІЗИКІВ

2 березня 1999 року

1. Шпигуноманія. Запропонуйте систему, яка дає змогу прослуховувати ззовні розмови у кімнаті, використовуючи відбивання лазерного променя від віконного скла. Оцініть параметри цієї системи.

2. Знову Армагедон. 2019 року астрономи виявили комету, що перетинає орбіту Плутона. За розрахунками, ця комета “націлена” точно на центр Землі. Запропонуйте спосіб боротьби з цією загрозою і оцініть його ефективність.

3. Піна. Оцініть час життя мильної піни.

4. Муха під ковпаком. Оцініть мінімальний тиск повітря, при якому кімнатна муха ще може літати.

5. Батарей опалення. Починаючи з якої кількості секцій у батареї водяного опалення, збільшення їх кількості втрачає зміст?

6. Бабині літо. У вересні можна побачити павуків, що користуються павутиною як парашутом. Які параметри нитки, яку людина може використати як парашут?

7. Хуртовина. Оцініть параметри хуртовини, під час якої нічого не видно.



НЕЗВИЧАЙНИЙ МАЯТНИК

Перш ніж сформулювати умову задачі, зупинімося на фізичній суті довільного коливання. Як Ви знаєте, існує два типи станів рівноваги: стійка і нестійка. При відхиленнях від положення стійкої рівноваги виникають сили, що намагаються повернути систему у вихідний стан. Припустімо, рівнодійна цих сил пропорційна до величини відхилення. Оскільки вона напрямлена протилежно, то $F = -kx$. Такі коливання називаються гармонічними: коливання пружинного (k - жорсткість пружини) і математичного ($k = mg/l$, де l - довжина нитки підвісу) маятників. Потенціальна енергія у цьому випадку

$$U(x) = \frac{kx^2}{2},$$

а у точці $x = 0$ функція має мінімум. Отже, коливання відбуватимуться навколо положення рівноваги, де потенціальна енергія системи досягає мінімуму. З математики відомо, що майже будь-яку неперервну функцію можна подати у вигляді:

$$U(x) = U(x_0) + a_1(x-x_0) + a_2(x-x_0)^2 + \dots + a_n(x-x_0)^n + \dots$$

Для тих читачів, які знайомі з основами математичного аналізу, зауважимо, що сталі $a_1, a_2 \dots$ - це коефіцієнти розкладу функції $U(x)$ у ряд Тейлора в околі точки x_0 . Нехай $x_0 = 0$ (коливання здійснюються навколо початку координат). Крім того, можна довести, що $a_1 = 0$, отже:

$$U(x) = U(0) + a_2(x)^2 + \dots + a_n(x)^n + \dots \quad (1)$$

Якщо серед коефіцієнтів цього ряду лише a_2 відмінне від нуля, то маємо випадок гармонічних коливань:

$$U(x) = \frac{kx^2}{2},$$

які описуються рівнянням:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

де ω - частота коливань, A - амплітуда, а φ - початкова фаза. Причому період коливань $T = 2\pi/\omega$ не залежить від A .

У наближенні малих коливань у (1) часто можна обмежитись квадратичним доданком, тобто розглядати гармонічні коливання. Проте якщо, наприклад, $a_2 = 0$, коливання стають суттєво ангармонічними.

Наведемо цікавий результат, який показує залежність періоду коливань T від амплітуди A у випадку, коли $U(x) = \alpha|x|^n$, якщо n - ціле число більше 2.

Розглянемо матеріальну точку масою m . Її повна механічна енергія

$$E = \frac{m\dot{x}^2}{2} + U(x), \text{ звідси знаходимо}$$

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{2(E-U(x))}{m}}$$

$$\text{або } dt = \sqrt{\frac{m}{2}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{E-U(x)}}.$$

Інтегруючи обидві частини отримуємо:

$$T = \int_0^T dt = 2\sqrt{\frac{m}{2}} \int_{-A}^A \frac{dx}{\sqrt{E-U(x)}}.$$

Амплітуду A знаходимо з умови $E_{\text{кін}} = 0$, тобто: $x = \pm A = \pm\sqrt{E/\alpha}$.

$$\text{Отже, } T = \left(2\sqrt{\frac{2m}{\alpha}} \cdot \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^n}} \right) \cdot \frac{1}{A^{n/2-1}},$$

де в інтегралі зроблено заміну змінних: $z = x/A$. Бачимо, що період коливань

$$T = \frac{\text{const}}{A^{n/2-1}}. \quad (2)$$

Зокрема, коли $n = 2$, отримуємо відомий результат: період гармонічних коливань T не залежить від амплітуди A .

Пропонуємо читачеві задачу, розв'язок якої ілюструє загальні методи розв'язування задач на ангармонічні коливання.



Знайдіть частоту малих коливань кульки масою m , яка здатна рухатись уздовж прямої і прикріплена до пружини жорсткості k , інший кінець якої зафіксовано у точці A на відстані l від прямої (рис. 1). Пружина, маючи довжину l , натягнута з силою F . Масою пружини знехтувати. Окремо дослідити випадок $F = 0$ (пружина у стані рівноваги недеформована).

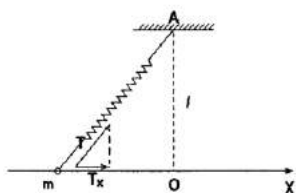


Рис. 1

Знайдімо силу T_x , що діє на кульку, виведену з положення рівноваги, у напрямку осі x . Сила натягу пружини

$$\begin{aligned} T &= k\Delta l = k\left(\sqrt{l^2 + x^2} - l_0\right) = \\ &= k(l - l_0) + k\left(\sqrt{l^2 + x^2} - l\right) \end{aligned}$$

де l_0 - довжина недеформованої пружини. За умовою

$$F = k(l - l_0) . \quad (3)$$

Очевидно,

$$\begin{aligned} T_x &= T \sin \alpha = \\ &= \frac{-x}{\sqrt{l^2 + x^2}} \left[F + k\left(\sqrt{l^2 + x^2} - l\right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

Потенціальна енергія пружини U пов'язана з величиною T_x співвідношенням:

$$T_x = -\frac{\partial U}{\partial x} .$$

Звідки легко знаходимо інтегруванням:

$$\begin{aligned} U(x) &= -\int_0^x T_x dx = \frac{kx^2}{2} + \\ &+ (F - kl)\left(\sqrt{l^2 + x^2} - l\right) \end{aligned}$$

Якщо $x \ll l$ розкладемо вираз в останніх дужках у ряд Тейлора за степенями x :

$$\sqrt{l^2 + x^2} - l = l \left(\frac{1}{2} \frac{x^2}{l^2} - \frac{1}{8} \frac{x^4}{l^4} + o\left(\frac{x^4}{l^4}\right) \right) .$$

Тоді для $U(x)$ отримаємо вираз:

$$U(x) \approx \frac{1}{2} \frac{F}{l} x^2 + \frac{(kl - F)x^4}{8l^3} \text{ при } x \ll l . \quad (5)$$

Проробивши ту саму процедуру з рівнянням (4), отримуємо вираз для T_x :

$$T_x = -\frac{F}{l} x - \frac{(kl - F)}{2l^3} x^3 , \quad x \ll l .$$

На основі другого закону Ньютона за відсутності сил тертя отримуємо рівняння ру-

$$\text{ху кульки: } m\ddot{x} + \frac{F}{l} \cdot x + \frac{kl - F}{2l^3} \cdot x^3 = 0 .$$

Або, увівши позначення

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{F}{lm}} , \quad (6)$$

$$\beta = \frac{kl - F}{2ml^3} \quad (7)$$

отримаємо :

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x + \beta x^3 = 0 \quad (8)$$

Зазначимо, що коефіцієнт β додатний згідно з рівністю (3)

$$\beta = \frac{kl_0}{2ml^3} > 0 .$$

Якщо $x \ll l$ величиною $\beta x^3 \sim \left(\frac{x}{l}\right)^3$ можемо

знехтувати порівняно з $\omega_0^2 x$ і отримаємо рівняння гармонічних коливань

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 ,$$

розв'язок якого добре відомий:

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi) , \quad (9)$$

де сталі A і φ визначаються з початкових умов. Період коливань

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{lm}{F}} . \quad (10)$$

Спрямуємо параметр F до нуля. З виразу (6) для ω_0 бачимо, що другий доданок у рівнянні руху (8) взагалі зникне, а період коливань $T \rightarrow \infty$. Отже, якщо у випадку $F = 0$, рух кульки вже не буде описуватись формулою (9). Про це мова буде далі.

**1. Випадок $F \neq 0$.**

Якщо ж F має мале, але скінченне значення,

відмінне від 0, то $\omega_0 \neq 0$ і, очевидно, можемо підібрати константу $x_0 > 0$ так, щоб для

$|x| < x_0$ виконувалось: $\beta x^3 \ll \omega_0^2 x$.

Тобто в області $|x| < x_0$ коливання кульки все ще будуть описуватися гармонічним законом (9). А що буде поза межами цієї області? Припустимо, амплітуда коливань у рівнянні (9) перевищує x_0 . Тоді ми вже не можемо знехтувати останнім доданком у рівнянні (8) і спостерігаються відхилення коливань від гармонічного закону. Такі коливання називають *ангармонічними*, і для їх опису розроблено спеціальний метод — метод послідовних наближень [1, 2]. Застосуємо цей метод до рівняння (8). Шукаємо розв'язок у вигляді:

$$x = x^{(1)} + x^{(2)},$$

причому $x^{(1)} = A \cos \omega_0 t$, де точне значення ω теж будемо шукати у вигляді суми:

$$\omega = \omega_0 + \omega^{(1)}.$$

Підставивши значення x і ω у (8) і нехтуючи величинами вищих порядків мализни, отримаємо рівняння для визначення $x^{(2)}$:

$$\begin{aligned} \ddot{x}^{(2)} + \omega_0^2 x^{(2)} &= \\ &= -A^3 \beta \cos^3 \omega t + 2\omega_0 \omega^{(1)} A \cos \omega t. \end{aligned} \quad (11)$$

Використавши відому тригонометричну тотожність

$$\cos^2 \omega t = \frac{1}{4} \cos 3\omega t + \frac{3}{4} \cos \omega t,$$

перепишемо (11) так:

$$\begin{aligned} \ddot{x}^{(2)} + \omega_0^2 x^{(2)} &= -\frac{A^3 \beta}{4} \cos 3\omega t + \\ &+ A \left[2\omega^{(1)} \omega_0 - \frac{3}{4} A^2 \beta \right] \cos \omega t. \end{aligned} \quad (12)$$

Не зупиняючись на доведенні цього твердження, вкажемо, що резонансні члени не повинні входити в рівняння для визначення поправок [1]. Тому коефіцієнт при $\cos \omega t$ слід вважати таким, що дорівнює нулеві. Звідси отримуємо рівняння для знаход-

$$\text{ження } \omega^{(1)}: \omega^{(1)} = \frac{3\beta}{8\omega_0} A^2.$$

Тоді розв'язок рівняння (12) слід шукати у формі:

$$x^{(2)} = B \cos 3\omega t, \text{ де } B = \text{const.}$$

Підставляючи цей вираз у наше рівняння і

$$\text{вважаючи } \omega^2 \approx \omega_0^2, \text{ знайдемо: } B = \frac{A^3 \beta}{32\omega_0^2}.$$

І остаточно

$$x = A \cos \omega t + \frac{A^3 \beta}{32\omega_0^2} \cos 3\omega t, \quad (13)$$

де ω визначається формулою

$$\omega = \omega_0 + \frac{3\beta}{8\omega_0} A^2. \quad (14)$$

Бачимо, що на нормальне коливання системи з частотою ω накладається додаткове коливання з частотою 3ω . Це так звана *комбінаційна частота*.

Основний період коливань $T = 2\pi/\omega$, як видно з (14), відрізняється від розрахованого за формулою (10).

Вважаючи, що $l = 10$ см і, будучи розтягнутою на 0.1 своєї довжини у положенні ОА (рис. 1), пружина діє на кульку зі силою $F = 0,25$ Н, отримаємо, що похибка визначення періоду за формулою (8) менша ніж 10 %, якщо амплітуда a не перевищує $x_0 = 2,43$ см ($T_0 = 0,4$ с при $m = 10$ г).

2. Випадок $F = 0$.

Маємо випадок суттєво ангармонічних коливань ($U(x) \sim x^4$). Рівняння (12) із введеною поправкою, очевидно, не можна застосовувати в цьому випадку. Це видно хоча б з того, що при $F \rightarrow 0$ доданок з $\cos 3\omega t$ необмежено зростає ($\omega_0 \rightarrow 0$). Повернімося до рівняння руху (8). Його перепишемо так: $\ddot{x} = -\beta x^3$. Заміною $\dot{x} = f(x)$, як легко переконалися, рівняння зводиться до:

$$\dot{x} = \pm \sqrt{\frac{c_1^2}{2} - \beta \frac{x^4}{2}}, \quad (15)$$



або

$$\pm \sqrt{2} \int_0^x \frac{dx}{\sqrt{c_1^2 - x^4 \beta}} = t + c_2, \quad (16)$$

де c_1, c_2 - сталі інтегрування.

Задамо початкові умови (рис. 2):

$$\begin{cases} x|_{t=0} = A > 0 \\ \dot{x}|_{t=0} = 0 \end{cases} \quad (17)$$

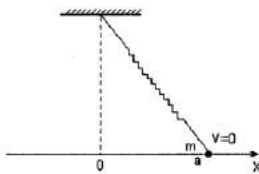


Рис. 2

Підстановка (17) в (15) і (16) дасть:

$$c_1 = \beta A^4, \quad c_2 = \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^A \frac{dx}{\sqrt{A^4 - x^4}}. \quad (18)$$

Інтеграл у лівій частині рівняння (16) не виражається в елементарних функціях. Зробимо заміну змінної $z = x/A$; тоді рівняння руху (16) з урахуванням (18) запишеться:

$$\frac{1}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^{x/A} \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}} = \pm t + c_2. \quad (19)$$

На першому півперіоді коливань в останній формулі слід взяти знак “-”, тоді рівняння руху:

$$\frac{1}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}} = t, \quad t \in [0, T/2] \quad (20a)$$

Причому якщо

$$t = \frac{T}{2} = \frac{2}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}},$$

отримуємо $x = -A$: кулька знаходиться у лівому крайньому положенні.

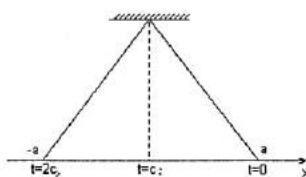


Рис. 3.

Із закону збереження енергії випливає, що $|x|$ не може перевищувати a , тобто на другому півперіоді ($t \in [T/2, T]$) кулька рухається від $x = -A$ праворуч до $x = A$. При цьому у рівнянні (19) треба вибрати знак “+”, і надати значення

$$c_2 = -\frac{3T}{4} = -\frac{3}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}}.$$

Одержимо:

$$-\frac{1}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^{x/A} \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}} = t - T \quad (20б)$$

Коливання здійснюватимуться з періодом

$$T = \frac{4}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}}. \quad (21)$$

Як бачимо, період коливань обернено пропорційний до амплітуди, що знаходиться у повній відповідності з (2). Схематичну залежність $x(t)$ зображено на рис. 6.

Зі зростанням t функція

$$\Phi(t) = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{2}{\beta}} \int_0^{x(t)/A} \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}},$$

яка фігурує у рівнянні (19) змінюється за законом, графічно зображеним на рис. 4.

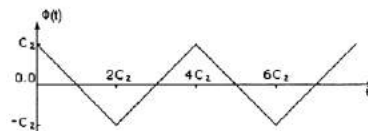


Рис. 4

Точний вираз для періоду коливань можна знайти, виражаючи означений інтеграл у правій частині (21) через еліптичні функції. Остаточний результат має вигляд

$$T = \frac{4K(1/\sqrt{2})}{\alpha\sqrt{\beta}} \approx \frac{7,41628}{\alpha\sqrt{\beta}}, \quad (22)$$

де $K(k)$ - повний еліптичний інтеграл першого роду [4, 6, 7].

Методами вищої математики з рівнянь (20) можна виразити x за допомогою однієї з еліптичних функцій Якобі. Вводять еліп-



тичний косинус: $y = \text{cn } x$. Це парна періодична функція з періодом $4K(1/\sqrt{2})$, її графік зображено на рис. 5.

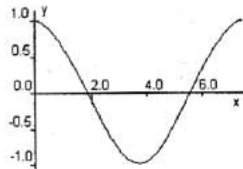


Рис. 5.

Тоді рівняння руху набуває вигляду:

$$x(t) = A \cdot \text{cn} \left[4K(1/\sqrt{2})t/T \right], \quad (23)$$

або підставляючи T з рівняння (22):

$$x(t) = A \cdot \text{cn} \left(\sqrt{\beta A} t \right).$$

Графік $x(t)$ зображено на рис. 6. Як бачимо, цей графік нагадує розв'язок рівняння гармонічного осцилятора: $x(t) = A \cos(\omega t)$, але величина ω є функція амплітуди A .

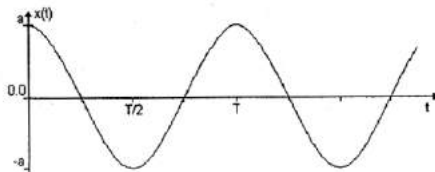


Рис. 6

Оцінімо за формулою (22) величину періоду T , підставляючи параметри системи, вказані наприкінці п. 1 і амплітуду $A = 2$ см. $T = 0.94$ с, де враховано, що числове значення $K(1/\sqrt{2}) = 1,85407$.

Не завжди вдається знайти точний розв'язок задачі на ангармонічні коливання і отримати вираз для періоду коливань та зв'язку його з амплітудою. Найчастіше такі задачі розв'язують наближено, тому цікаво було б одержати розв'язок рівняння (19)

чисельним методом, не вдаючись до використання спеціальних функцій. Авторів не вдалося це зробити, оскільки поблизу точок повороту $x = -A$ та $x = A$ виникали труднощі з обчисленням інтеграла

$$\int_0^{x(t)/A} \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}}.$$

Цей інтеграл збігається при $x = \pm A$ (див. (21)), проте у машинній реалізації при подрібненні кроку інтегрування і наближенні до точки $x = \pm A$ з'являлися певні ускладнення.

У задачі було розглянуто найпростішу модель, і автор мав завдання не лише продемонструвати метод, яким розв'язують задачі такого класу, а й показати, що ангармонізм — досить поширене явище, прикладом якого може бути звичайна кулька на пружинці.

1. Ландау Л. Д. Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: В 10-ти Т. Т.1. Механика. М., 1988.
2. Боголюбов Н.М., Митропольский Р.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М., 1958.
3. Смирнов В.И. Курс высшей математики. М., 1951. Т. 3, ч. 2.
4. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений.
5. Лебедев Н.Н. Специальные функции и их приложения. М., 1968.
6. Сикорский Ю.С. Элементы теории эллиптических функций с приложениями в механике.
7. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами. /Под ред. М.Абрамовица и И.Стиган. М., 1979.
8. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. М., 1964.

Андрій Невідомський,

студент III курсу
фізичного факультету
Львівського державного університету
імені Івана Франка

Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики (IV етап) за 1998 р.

(Продовження, умови задач див. у журналі "Світ фізики" 1999. № 1(5))

10-й клас

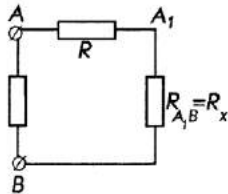
Задача 1.

Теплоємність визначається за формулою

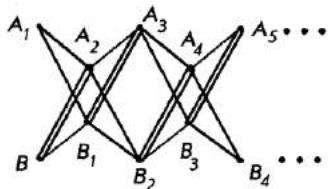
$$C = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{Pt}{m\Delta T} = \frac{P}{\mu\Delta t} = 990 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Задача 2.

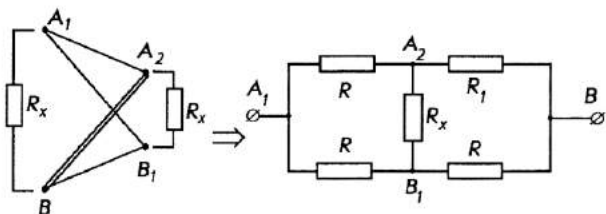
Еквівалентне коло має вигляд:



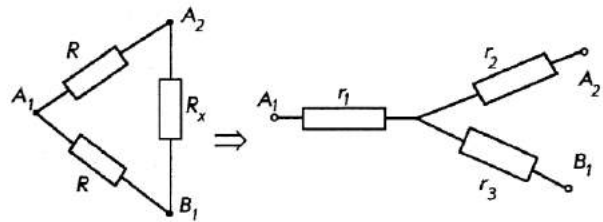
де R_{A_1B} - опір нескінченного ланцюга, що має вигляд:



На схемі опір R - позначено однією лінією, а опір R_1 - подвійною лінією. Як видно з рисунка, опір R_{A_1B} нескінченного ланцюга дорівнює опору $R_{B_1A_2}$ нескінченного ланцюга. Позначимо опір ланцюга $R_{A_1B} = R_{B_1A_2} = R_x$, тоді еквівалентне коло ланцюга має вигляд:



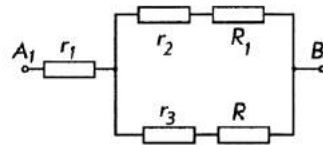
Як відомо, трикутник з опорів завжди можна замінити зіркою



де

$$r_1 = \frac{R \cdot R}{R + R + R_x}, r_2 = \frac{R_x \cdot R}{2R + R_x}, r_3 = \frac{R_x \cdot R}{2R + R_x}$$

Якщо скористаємось цією заміною, то отримаємо таке коло



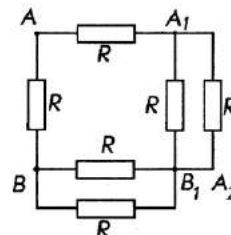
Розрахуємо опір цієї ділянки

$$R_{A_1B} = r_1 + \frac{(r_2 + R_1)(r_3 + R)}{(r_2 + R_1 + r_3 + R)} = R_x$$

Підставивши в це рівняння r_1, r_2, r_3 , можна визначити R_x . Перетворення дуже довгі, тому ми пропонуємо провести їх читачам самостійно. Визначивши R_x , легко розрахувати опір

$$R_{AB} = \frac{R(R + R_x)}{2R + R_x}$$

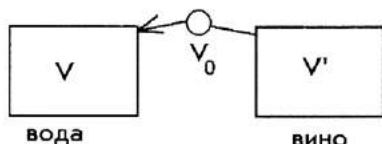
Якщо в колі $R_1=R$, тоді очевидно, що в нескінченному ланцюгу є площина симетрії, відносно якої т. A_1 і т. B симетричні. Це означає, що точки A_2 і B_1 мають однаковий потенціал, тобто їх можна сполучити, тоді коло має вигляд



$$R_{AB} = \frac{R \cdot 2R}{R + 2R} = \frac{2R}{3}$$

Тобто можна вилучити з кола усі резистори від точок A_2, B_1 і далі.

Задача 3.



а) Якщо у склянку з водою вилеємо ложку вина, тоді концентрація води у вині буде

$$\alpha_1 = \frac{V_0}{V + V_0}$$

заберемо ложку розчиненого вина зі склянки з водою. У цій ложці міститься $\alpha_1 V_0$ — вина, тоді у склянці з водою залишиться

$$V_1 = V_0 - \alpha_1 V_0 = \frac{V V_0}{V + V_0} \text{ — об'єм вина у воді.}$$

$$V_2 = V_0 - \alpha_1 V_0 = \frac{V V_0}{V + V_0} \text{ — об'єм води у склянці}$$

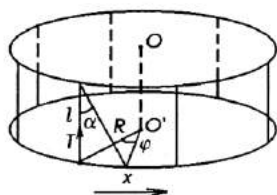
з вином.

б) Друга частина має аналогічний розв'язок:

$$V_2 = V_1 = \frac{V' V_0}{V' + V_0} \text{ — об'єм води у вині дорівнює}$$

об'єму вина у воді.

Задача 4.



Розглянемо малі крутильні коливання диску масою m . Всі кути малі, це означає

$$\alpha = \sin \alpha = \text{tg} \alpha = x/l, \cos \alpha = 1, \varphi = x/R, \alpha l = \varphi R \Rightarrow \alpha = R\varphi/l$$

$$\alpha = \frac{R\varphi}{l} \tag{1}$$

У рівновазі

$$mg = NT, \tag{2}$$

де N - кількість ниток, T - сила натягу нитки. Врахуємо, що при малих α сила натягу не змінюється, тобто $mg = NT \cos \alpha = NT$. Запишемо

основне рівняння динаміки обертального руху для диску відносно осі OO' : $M = -\beta I$. Мінус означає, що момент сил натягу ниток

$$M = NT \sin \alpha \cdot R = NTR\alpha$$

протилежний до вибраного напрямку обертання. I - момент інерції диску відносно осі OO' .

$\beta = I\varphi''$ - кутове прискорення диска.

$$NTR\alpha = -I\varphi'' \Rightarrow \varphi'' = -\frac{NTR\alpha}{I} \Rightarrow$$

врахуємо (1) і (2):

$$\varphi'' = -\frac{mgR^2}{I \cdot l} \varphi$$

Отримали рівняння, яке описує гармонічні коливання. Постійний коефіцієнт при φ дорівнює квадратові циклічної частоти коливань маятника:

$$\omega = \sqrt{\frac{mgR^2}{I l}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{I l}{mgR^2}} \text{ — період коли-}$$

вань диску.

Якщо у центрі диска покласти невеликий тягарець масою m , це приведе до зміни маси диска і не змінить його момент інерції. Новий маятник має період

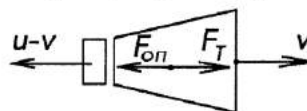
$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I l}{2mgR^2}}$$

Відношення періодів коливань маятників

$$\frac{T}{T_1} = \sqrt{2}$$

Задача 5.

У системі відліку (СВ), пов'язаній із Землею, швидкість катера v , води $u-v$ (див. рис.).



$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{затр}}} \text{ — К К Д двигуна катера.}$$

$A_{\text{кор}} = F_T v t$. Під час рівномірного руху катера:

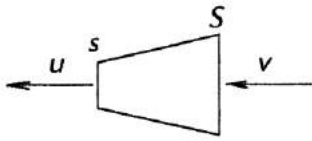
- 1) $F_T = F_{\text{оп}}$;
- 2) $A_{\text{затр}}$ - робота двигуна йде на збільшення ΔK кінетичної енергії води (викинутої двигуном) і на виділення теплоти Q (результат дії сили опору). Сила тяги двигуна дорівнює силі, з якою вода, яку викидає двигун, діє на катер.

За другим законом Ньютона: $F_T t = m_0 (u - v)$ (імпульс сили дорівнює зміні імпульса води).

$$A_{\text{кор}} = \Delta K_{\text{води}} + Q = \frac{m_0 (u - v)^2}{2} + F_{\text{он}} vt,$$

$$\eta = \frac{F_T vt}{\frac{m_0 (u - v)^2}{2} + F_{\text{он}} vt} = \frac{m_0 (u - v) v}{\frac{m_0 (u - v)^2}{2} + m_0 (u - v) v} = \frac{2v}{u + v}$$

СВ-катер.



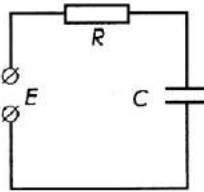
Вода потрапляє у катер зі швидкістю v , а витікає зі швидкістю u . Запишімо рівняння неперервності для вхідного і вихідного перерізів катера $vS = us$. Врахувавши це рівняння, отримаємо:

$$\eta = \frac{2s}{s + S} = 4\%.$$

11-й клас

Задача 1.

а)



Запишімо закон Ома

$$E = \frac{q}{C} + IR \Rightarrow EC = q + \frac{dq}{dt} RC \Rightarrow$$

$$\frac{dq}{dt} RC = EC - q \Rightarrow \frac{dq}{EC - q} = \frac{dt}{RC}$$

проінтегруймо цей вираз:

$$\int \frac{dq}{EC - q} = \int \frac{dt}{RC} \Rightarrow \ln(EC - q) = -\frac{t}{RC} + \ln EC$$

$$\Rightarrow \ln \frac{EC - q}{EC} = -\frac{t}{RC}$$

потенціюймо цей вираз:

$$EC - q = EC \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \Rightarrow q = EC \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)$$

тоді робота джерела:

$$A_{\text{дж}} = qE = CE^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)$$

енергія конденсатора:

$$W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{CE^2}{2} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)^2$$

Ефективність процесу зарядки:

$$\eta_E = \frac{W_C}{A_{\text{дж}}} = \frac{1}{2} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)$$

б) Якщо струм постійний,

$$W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{I^2 t^2}{2C}$$

Енергія, розсіяна на резисторі

$$W_R = \int I^2 R dt = I^2 Rt$$

Робота джерела

$$A_{\text{дж}} = W_C + W_R = I^2 Rt \left(1 + \frac{t}{2RC}\right)$$

ефективність зарядки

$$\eta_I = \frac{W_C}{A_{\text{дж}}} = \frac{I^2 t^2}{2I^2 RCt \left(1 + \frac{t}{2RC}\right)} = \frac{t}{2RC + t}$$

якщо при $t \gg RC$ $\eta_E \rightarrow \frac{1}{2}$ $\eta_I \rightarrow 1$;

якщо при $t \ll RC$

$$\frac{\eta_E}{\eta_I} = \frac{1}{2} \frac{\left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right)(2RC + t)}{t} =$$

$$= \frac{1}{2} \frac{2RC + t}{RC} = 1.$$

Задача 2.

Нехай M - загальна маса кошика з пасажирями, m_0 - маса повітря, витісненого кулею, m - маса нагрітого повітря в кулі. Тоді умова підняття кулі

$$m_0 = M + m \tag{1}$$

$$m_0 = \frac{PV\mu}{RT_0}; m = \frac{PV\mu}{RT} \tag{2}$$

де T, T_0 - температура повітря в кулі і назовні. (2)→(1):

$$\frac{PV\mu(T - T_0)}{RT_0T} = M. \quad (3)$$

Отже, якщо об'єм кулі $V \geq \frac{MRT_0T}{P\mu(T - T_0)}$, то куля

полетить.

Підрахуємо, яка маса пропану потрібна для нагрівання повітря у кулі до $T = 400$ К.

$$dQ = C \frac{m}{\mu} dT = C \frac{PV}{RT} dT,$$

проінтегруймо цей вираз:

$$Q = q \nu_{np} = \int_{T_0}^T C \frac{PV}{RT} dT = \frac{CPV}{R} \ln \frac{T}{T_0}.$$

Тоді маса пропану:

$$\begin{aligned} m_{np} &= \nu_{np} \mu_{np} = \frac{\mu_{np} CPV}{qR} \ln \frac{T}{T_0} = \\ &= \frac{\mu_{np} CMT_0T}{q\mu(T - T_0)} \ln \frac{T}{T_0} \approx 1.7 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Отже, з такою масою пропану куля не підніметься.

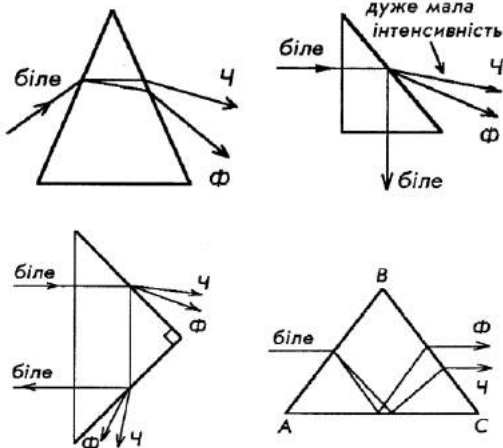
Задача 3.

а) Визначмо граничний кут повного внутрішнього відбивання

$$\alpha_{0\psi} = \arcsin \frac{1}{n_{\psi}} \approx 48.7^\circ,$$

$$\alpha_{0\phi} = \arcsin \frac{1}{n_{\phi}} \approx 48.3^\circ.$$

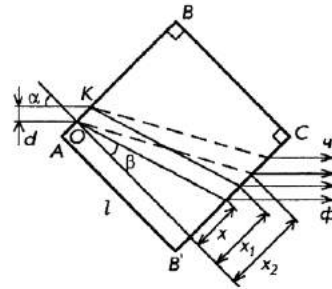
Тоді хід променів має вигляд:



Для визначення зміщення променів скористай-

мось дзеркальним відбиванням грані BC відносно грані AC. Тоді промені у призмі стануть прямими.

$$\sin \beta_1 = \frac{\sin \alpha}{n_1} \quad \sin \beta_2 = \frac{\sin \alpha}{n_2}.$$



З геометричних міркувань

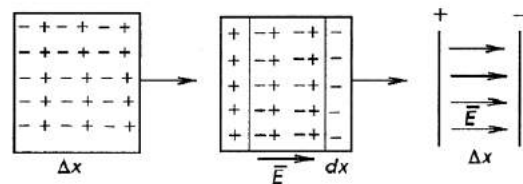
$$x = l \operatorname{tg} \beta_1; \quad x_1 = l \operatorname{tg} \beta_1 + \sqrt{2}d; \quad x_2 = l \operatorname{tg} \beta_2;$$

$$x_2 - x_1 = l \operatorname{tg} \beta_2 - l \operatorname{tg} \beta_1 - \sqrt{2}d = \sqrt{2}d \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d = \frac{l(\operatorname{tg} \beta_2 - \operatorname{tg} \beta_1)}{2\sqrt{2}} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ м}.$$

Задача 4.

Нехай область з порушеною електронейтральністю виникає завдяки зміщенню шару електронів товщини dx на Δx праворуч відносно такого ж шару іонів. При цьому утвориться система типу плоского конденсатора.



Поверхнева густина зарядів на обкладках такого конденсатора $|\sigma| = q_0 n \cdot dx$, де $q = e$ (заряд електрона), n - концентрація електронів. Між обкладками виникає електричне поле напруженістю

$$E = \frac{en \cdot dx}{\epsilon_0}.$$

Нехай S - площа обкладок, тоді на електрони в конденсаторі діє сила

$$F = qE = en \Delta x \cdot SE = (e^2 n^2 \Delta x \cdot S dx) / \epsilon_0,$$

ця сила напрямлена протилежно до зміщення електронів. Тоді з другого закону Ньютона

$$ma = -F \Rightarrow m_e n \Delta x \cdot Sa = -\left(e^2 n^2 \Delta x \cdot S dx\right) / \epsilon_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{e^2 n}{m_e \epsilon_0} dx,$$

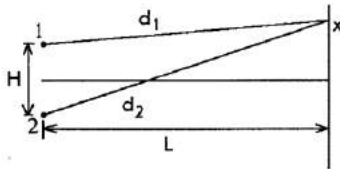
це диференціальне рівняння, розв'язком якого є рівняння гармонічних коливань з частотою

$$\omega = \sqrt{\frac{ne^2}{m_e \epsilon_0}},$$

тобто у плазмі виникають гармонічні коливання.

Задача 5.

Розгляньмо інтерференцію променів на відстані L від точкових джерел.



Умова спостереження першого мінімуму буде:

$$d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2};$$

$$\sqrt{\left(L^2 + \left(x + \frac{H}{2}\right)^2\right)} - \sqrt{\left(L^2 + \left(x - \frac{H}{2}\right)^2\right)} = \frac{\lambda}{2},$$

$$\begin{aligned} & \left(\sqrt{\left(L^2 + \left(x + \frac{H}{2}\right)^2\right)} - \sqrt{\left(L^2 + \left(x - \frac{H}{2}\right)^2\right)} \right) \times \\ & \times \left(\sqrt{\left(L^2 + \left(x + \frac{H}{2}\right)^2\right)} + \sqrt{\left(L^2 + \left(x - \frac{H}{2}\right)^2\right)} \right) = \\ & = \frac{\lambda}{2} \left(\sqrt{\left(L^2 + \left(x + \frac{H}{2}\right)^2\right)} + \sqrt{\left(L^2 + \left(x - \frac{H}{2}\right)^2\right)} \right). \end{aligned}$$

Сума коренів приблизно дорівнює $2L$, тоді

$$\left(x + \frac{H}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{H}{2}\right)^2 = \frac{\lambda}{2} \cdot 2L \Rightarrow 2xH = \lambda L \Rightarrow$$

$$\Rightarrow x = \frac{\lambda L}{2H} = \frac{cL}{2fH} = 25 \text{ м.}$$

Радист може виявити відхилення від курсу на 25 м.

Підготував
Володимир Алексейчук

Чи знаєте Ви що...

Перші кроки напівпровідникової техніки були суттєво загальмували рутинерами і консерваторами. Лабораторію компанії "Белл" у США, де проводились дослідження надчистого германію, глумливо називали "кімнатою непотрібних матеріалів". Вперше побачивши зразок германію з прикріпленими до нього провідниками, експерти заявили: "Такий примітив ніколи не замінить радіолампу!" Коли у 1947 року дослідники Дж. Бардін, В. Браттейн та В. Шоклі, які пізніше отримали Нобелівську премію, демонстрували їм транзисторний ефект, то чули у відповідь: "Ну і що?"

Згодом був створений біполярний транзистор, який відразу ж міг здійснити революцію у радіотехніці... Але експерти не побачили і в цьому приладі нічого більше, ніж допоміжний елемент до радіосхем.

Далекогляднішими за всіх виявились експерти японської фірми "Соні", які порадили керівництву придбати ліцензію на транзистор і налагодити масовий випуск портативних радіоприймачів, надійніших, ніж лампові. Компанії "Белл" довелось наздоганяти японців у виробництві власної продукції. З приводу цього президент компанії "Белл" І. Росс обурливо заявив, що слід вигнати всіх "так званих" експертів, і що найкращим експертом є сам винахідник, якому і потрібно довіряти.

На жаль, запізніле каяття вже не втішило В. Шоклі, який у гніві від того, що відбулося, перестав займатись фізикою напівпровідників і присвятив себе генетичним дослідженням... Однак його ім'я відоме кожному, хто через півстоліття робить свої перші кроки у вивченні напівпровідників.



За дорученням Кабінету Міністрів України від 16.06.98 р. № 3559/46 для відзначення 100-літнього ювілею видатного вченого фізика Олександра Смакули створено організаційний комітет із представників наукової громадськості та відомств. Очолює комітет віце-прем'єр-міністр Валерій Смолій.

24 травня 1999 року у Тернопільському державному технічному університеті ім. І.Пулюя відбулося засідання оргкомітету стосовно відзначення 100-річчя Олександра Смакули. На засіданні вирішено провести II Міжнародний Смакуловий симпозіум "Фундаментальні і прикладні проблеми сучасної фізики" з 5 до 10-го вересня 2000 року, ювілейні академії у Києві, Львові, Тернополі, встановити пам'ятник О.Смакулі на

його батьківщині (с. Добриводи, Збаразького району, Тернопільської області), присвоїти Добриводівському технічному ліцею ім'я Олександра Смакули, встановити іменну стипендію для студентів, випустити пам'ятну гривню, марку, конверт.

Святкові заходи відбудуться також у Геттингенському університеті (Німеччина) та Массачусетському технологічному інституті (США), в яких працював видатний учений.

Всеукраїнський освітній колоквиум молодіжного об'єднання "Сузір'я" "Космос. Людина. Духовність" відбувся з 21 до 26 вересня 1998 р. у м. Ужгороді. Випробування на кмітливість, знання, ерудицію проводились в три етапи: захист рефератів, багатoproфільне тестування, творчі конкурси. Захист рефератів відбувся за темами: "Моделювання цікавих об'єктів та явищ космосу", "Перспективні переміщення у просторі та часі", "Глобальні проблеми людства у XXI сторіччі", "Гармонія земної та космічної природи", "Наукові тлумачення поняття Творця".

За оцінками журі, в якому працювали відомі фахівці: д-р мед. наук, проф. Ф.Теличко, д-р фіз.-мат. наук, проф. І. Опачко, проф. М.Братійчук, багато учнівських праць є цікавими та перспективними для продовження досліджень.

28-30 квітня 1999 року в м. Львові відбулася Друга виставка-конкурс "Комп'ютер і студент 99". У різних номінаціях: "Автоматизація експерименту та комп'ютерна обробка експериментальних даних", "Аналіз і моделювання", "Комп'ютерна графіка", "Мережеве програмне забезпечення", "Навчальні та тестові програми", "Саморобне апаратне забезпечення" та інші, авторитетне журі визначило переможців.

Виставка "Комп'ютер і студент 99" засвідчила, що молодь здатна стати авангардом у галузі комп'ютерних технологій, сприяла встановленню тісних контактів між талановитими студентами та бізнесовими структурами, що володіють ресурсами для реалізації всіх наукових та прикладних наробок, чим довела доцільність подібних заходів в інших галузях науки і техніки.

Переможці виставки-конкурсу в різних номінаціях були нагороджені цінними подарунками, у тому числі комплектом журналу "Світ фізики" та безкоштовною річною передплатою на журнал.

У вересні 1999 року в м. Одесі на базі Рішельєвського ліцею при Одеському державному університеті проходить Всеукраїнська науково-методична конференція "Актуальні питання комплексної освіти у спеціалізованих середніх навчальних закладах з підвищеними вимогами до вивчення природничо-математичних дисциплін".

У період роботи конференції Рішельєвський ліцей проводить VII Міжнародний фестиваль юних математиків та фізиків — комплексне фізико-математичне учнівське змагання.



“Вода, у тебе немає ані смаку, ані запаху, тебе не можна описати, тобою насолодитися, не розуміючи, що ти таке! Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти сама життя”.

Антуан де Сент-Екзюпері

Що таке вода?

Формулу її знають всі — H_2O . Однак води, якій відповідала б ця формула, у природі немає. Чому ж? Та тому, що не існує просто водню, а є протій — H , дейтерій — 2H , тритій — 3H . Немає просто кисню, а є ізотопи ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O . Відповідно ми маємо 18 її різновидів.

Існує різновид води — важка вода, молекула якої складається з двох атомів дейтерію і кисню. Відомо, що важка вода використовується в ядерних реакторах, як сповільнювач нейтронів, що з важкої води можна отримати дейтерій, який використовується в термоядерному синтезі, тощо. Відомо досить багато, одночасно лише загальні речі. Що ж до інформації про конкретні фізичні, хімічні та біологічні властивості важкої води, то тут недостатньо інформації. Можливо ці властивості ще не досліджені, а можливо утаємничені, як і багато інших цікавих фізичних ефектів та властивостей матеріалів, що стосуються ядерної енергетики та ядерної зброї.

Чому цей різновид води називають важкою? Більша молярна маса? Це зрозуміло. Але не завжди більша молярна маса зумовлює більшу густину.

Відомо, що етиловий спирт C_2H_5OH має більшу молярну масу, ніж звичайна вода (H_2O), а густину меншу. Перші вимірювання густини важкої води здійснили американські учені Левіс і Макдональд, про що сповістили наукову громадськість ще 1933 року. Вони мали у своєму розпорядженні 0,12 мл важ-



кої води, чистотою 99,99 % і встановили, що при температурі $25^\circ C$ її густина становить $1105,6 \text{ кг/м}^3$. Звичайна вода має мінімальний питомий об'єм і максимальну густину при $4^\circ C$, а максимальна густина важкої води спостерігається при $11,6^\circ C$.

Температура замерзання чистої важкої води дорівнює $3,80 - 3,82^\circ C$ (за даними із різних джерел). Температура кипіння важкої води при нормальному атмосферному тиску дорівнює $101,42^\circ C$. Питома теплота пароутворення важкої води більша, ніж звичайної, а тиск насиченої пари її менший і знаходиться в межах 87 - 95 % від тиску насиченої пари звичайної води. При підвищенні температури відношення тисків насиченої пари важкої води до тиску насиченої пари звичайної води прямує до одиниці, тобто різниця між важкою і звичайною водою зменшується.

Значну зацікавленість наші читачі можуть мати до коефіцієнту поверхневого натягу важкої води, адже майже всі вони самостійно визначали коефіцієнт поверхневого натягу води при виконанні лабораторних робіт. Можливо дехто отримував при таких дослідженнях результати, які відрізняються від табличних даних.

— Не дивуйтесь!

— Можливо у вашій склянці була важка вода!

Коефіцієнт поверхневого натягу важкої води при $20^\circ C$ становить $0,0678 \text{ Н/м}$, а звичайної води — $0,0727 \text{ Н/м}$. В'яз-

кість важкої води на 20 - 30 % більша, ніж в'язкість звичайної води.

Менша полярність важкої води зумовлює меншу розчинність у ній солі. Відмінність розчинності $NaCl$ у важкій і звичайній воді досягає 15 %, а $BaCl_2$ — 19 %. Провідність важкої води менша, ніж провідність звичайної води.

Зрозуміла важлива роль води у забезпеченні життєдіяльності рослин і тварин. Цікаво, як впливатиме важка вода на ці процеси? Дослідження на початку 1930-х років показали, що насіння рослин у пробірці з важкою водою не проростають. Однак вона не знищує здатність насіння сходити. Насіння, яке пролежало три тижні у важкій воді, після вимочування, у звичайній воді все ж таки проростало, хоч паростки за деякий час гинули. Жаби та риби гинуть у чистій важкій воді протягом 1 - 2 годин.

Відмінності властивостей важкої і звичайної води, як, наприклад, температури замерзання, молекулярного об'єму, коефіцієнтів в'язкості і поверхневого натягів та інших, вказують на зміну величини міжмолекулярних сил зв'язку при заміні одного ізотопу іншим у молекулі води, що впливає на асоціацію води. Асоціація важкої води значно менша, ніж звичайної, а саме 1,34 замість 2,50. За ступенем асоціації важка вода належить до слабо асоційованих рідин. Можливо, що біохімічні властивості її зумовлені саме цим.



Американський учений Роберт Вуд став легендарною фігурою в галузі фізики завдяки віртуозним експериментам і способу мислення. Геній Вуда полягав у вмінні ставити незвичайні задачі і знаходити для них цілком оригінальні і в той же час дивовижно “прості рішення”.

1903 року професор Р.Блондло з університету в м. Нансі, член Французької Академії, відомий дослідник, повідомив про відкриття ним нових променів, які назвав N-променями. Властивості їх були багатообіцяючими...

Вогонь відкриття, запалений Р.Блондло, яскраво розгорівся, оскільки його роздмухували й інші учені. Серед них були фізики і біологи, хіміки і геологи. Вже в першій половині 1904 року було опубліковано близько 100 статей по цій проблемі. N-промені поляризували, намагнічували, гіпнотизували, продовжували все детальніше і глибше досліджувати. Однак, фантастичні властивості вдавалось спостерігати лише французьким ученим. Учені інших країн не могли повторити цих експериментів і скептично спостерігали за фантазіями французів. Французька Академія відзначила роботу Р.Блондло, присудивши йому премію Лаванда і золоту медаль, показавши всьому світу пріоритет Франції у цій галузі науки.

Роберт Вуд відвідав лабораторію Р.Блондло і прийняв участь у його експериментах. У лабораторії здійснювали вимірювання довжини хвилі N-променів. Їх міг спостерігати лише сам Р.Блондло, Р.Вуд нічого не бачив на виході бутафорного пристрою, що нагадував оптичний спектроскоп. Р.Блондло впевнено, раз за разом, знімав відліки зі свого приладу, і намагався довести, що ефект відтворюється. Під час чергового експерименту Р.Вуд у темноті непомітно зняв з спектроскопа алюмінієву призму, а Р.Блондло, все одно отримав ті ж самі результати!

Після цього Р.Вуд у журналі “Nature” детально описав свою участь в експериментах з N-променями. Публікація статті Р.Вуда викрила наукових фальсифікаторів і зразу ж закрила зацікавленість до цієї проблеми.

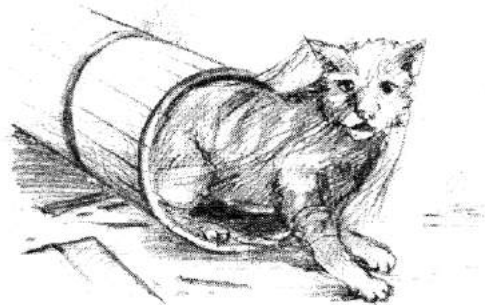
Роберт Вуд довів, що фокусників на ниві науки найбільш ефектно допомагають вивести на чисту воду те ж фокуси!

Цю прикру сторінку історії французької науки можна закінчити гіркою оцінкою іншого французького ученого Ле-Беля який сказав: “Яким видовищем є французька наука, якщо один з її чільних представників вимірює положення спектральних ліній тоді, як призма спектроскопа знаходиться у кишені його американського колеги”!

...Спектроскоп Роберта Вуда складався із довгої дерев'яної труби, цілих сорок два фути довжиною і близько шести дюймів діаметром, яка стирчала із стіни на залізних підставках. В одному кінці її знаходилась дифракційна ґратка, а на другому — щілина і дзеркало. За зиму і весну у неї забралися павуки і сплели павутину. Коли Вуд побачив це ... він схопив кішку і засунув її в один кінець труби, закривши її. Кішці нічого не залишилось як повзти до світлого кінця труби, тягнучи за собою цілий шлейф павутини і з жахом кинутися через паркан від цього страшного місця.

Професор зовсім не чекав, що випадок з кішкою стане всесвітньо відомим, коли він ненароком задав про це у статті, яку послав у журнал “Philosophical Magazine”.

Це був простий, швидкий і ефективний спосіб досягнення бажаного результату!



ШАХова сторінка

Міжнародний гротмайстер з шахів Марта Літинська

"Коли настав час вибирати — я вибрала шахи!"

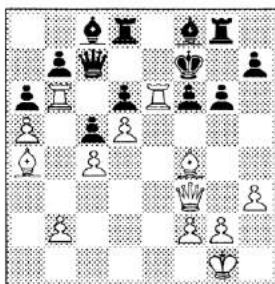
Дехто вважає, що математика і шахова гра — дуже споріднені, майже сестри. Можливо, їх до цього схиляє те, що вони обидві мають подібний механізм існування: і математика і шахи потребують постійних обчислювальних операцій. Проте, якщо математику вважають точною наукою, то про шахи століттями ведеться дискусія: це наука, спорт чи мистецтво. Кожен має свої аргументи, з якими можна погодитись, а можна й не звертати увагу. Шахи настільки цікава гра, що захоплює мільйони своїх шанувальників, які готові в будь-який час і де завгодно розгорнути шахівницю, розставити чорні та білі фігури і розпочати чергову партію. А що серед відомих шахістів трапляються математики, фізики чи кібернетики нічого не означає, бо серед них є і співаки, і музиканти і драматурги.

У 1972 році Марта Літинська (тоді ще Марта Шуль) закінчила Львівський державний університет імені Івана Франка за фахом "прикладна математика", майже два роки вона працювала у обчислювальному центрі науково-дослідного інституту поліграфічної промисловості, мріяла про наукову кар'єру. Та настав день, коли вона зрозуміла, що дві справи робити добре вона не зможе. І вибрала шахи. На той час Марта вже була чемпіонкою СРСР, гротмайстером, учасником змагань за шахову корону.

Здається, українська математична наука нічого не втратила, зате українські шахи в особі Марти Літинської багато років мали свого представника в світовій шаховій еліті.

Чемпіонкою України Марта Літинська була тричі — 1967, 1977 і 1995 рр. Вперше виграла цей титул у 18 років. 1988 року в командному складі здобула срібну нагороду Всесвітньої шахової олімпіади, через чотири роки повторила досягнення у складі команди України, восени 1992 року виграла командний чемпіонат Європи. В її послужному списку — перемоги над усіма чемпіонками світу, з якими вона зустрічалася за шаховою дошкою.

Ось фрагмент з переможної партії над багаторічною чемпіонкою світу Майєю Чибурданідзе в чемпіонаті СРСР 1979 року.



Щойно білі зіграли: **30. Те6**. Тепер не можна *30 ... С:e6 31. de+Кр:e6 32. Dd5+Крe7 33. Т:b7* з перемогою.

30. ... Сe7 31. С:d6 Т:d6 32. Ть:d6 D:d6

Цікавий мат у варіанті: *32. ... С:e6 33. de+Крf8 34. Тd7 D:a5 35. D:f6+С:f6 36. Тf7X*

33. Т:d6 С:d6 34. De3 Тd8 35. b4 cb 36. Db6 Ce7 37. Сb3 f5 38. c5Крf8 39. D:b4 Тd7 40. Dd4 і в безнадійному положенні чорні не встигли зробити свій контрольний хід.

Недавно Марта Іванівна відзначила перший ювілей, та й то не в день свого народження — 25 березня, а за тиждень, бо була на змаганнях за кордоном. Вона продовжує грати за клубні команди Польщі, Румунії, Німеччини, а також не цурається й домашніх змагань у стінах Львівського Палацу шахів.

Іван Яремко

На світлині: автор вітає Марту Літинську з ювілеєм



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"

З питань розміщення
реклами звертатись
за адресою

290005 м. Львів,
вул. Саксаганського, 1
Тел.: 380 0322 72-68-11
sf@ktf.franko.lviv.ua



Мурашко Олександр Олександрович
(1875-1919)

У кав'ярні. 1902

Полотно, олія. 184,5x168,5
ОХМ

Після закінчення навчання у майстерні І.Рєпіна в Петербурзькій Академії мистецтв Олександр Мурашко виїхав у подорож за кордон, зокрема до Парижу. Вивчаючи сучасне йому європейське мистецтво, художник шукав свою тему, своє творче обличчя. Як колись і його вчитель, Мурашко звернув увагу на життя паризьких кафе та їх відвідувачів. Написані впродовж 1902—1903 років картини «У кав'ярні», «Біля кав'ярні (Парижанки)», «На вулицях Парижу» Мурашко надіслав до Академії як творчий звіт, але там вони здалися надто сміливими і викликали невдоволення. На полотні «У кав'ярні» Мурашко правдиво відтворив типову сценку паризького життя.

У цій картині уже виявилися характерні риси творчого методу художника: увага до образної змістовності, психологічної характеристики персонажів, звернення до виразної композиції, соковитий, яскравий живопис.

