

С В І Т

ФІЗИКИ

№1
2002

науково-популярний журнал

*Люди перестають думати,
як тільки перестають читати.*

Д. Дідро





*Г.Вакарчук, В.Семиноженко, П.Хобзей, М.Бродин, Я.Довгий
на презентації журналу "Світ фізики"*



Р.Федорів



О.Біланюк



*Г.Шопа представляє журнал
на міжнародній виставці
Франкфурт-на-Майні*

ЖУРНАЛУ "СВІТ ФІЗИКИ" — 5 РОКІВ



*На форумі видавців
у Львові*



М.Прихода

*Інтерв'ю з міністром
освіти і науки В.Кременем*



Р.Гайда



Й.Стахіра

П.Голод

Б.Лукіянець



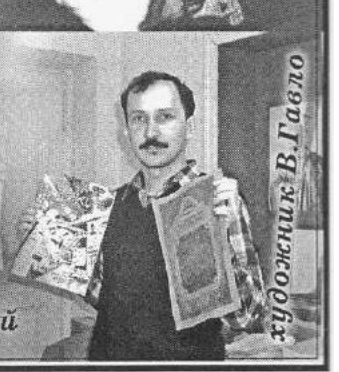
ЄВРОСВІТ
М. ЛЬВІВ



Я.Ячук



О.Гальчинський



художник В.Гавло

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

1(17) '2002

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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк

СП „Свросвіт”, наклад 1000 екз.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

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

у Києві 380 (044) 416 60 68

sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Журналу „Світ фізики”, який заснований з ініціативи науковців та педагогів України – п'ять років. Журнал сформувався як науково-популярне видання з фізики, має постійні рубрики, знайшов свого читача, його читають в Україні та за її межами.

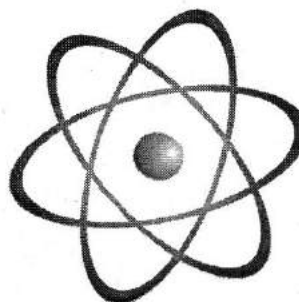
Журнал бере участь у конференціях з педагогічних, методичних питань викладання фізики та астрономії, аналізує проблеми. Проводить круглі столи з науковцями, вчителями та зустрічі з студентами і школярами.

Журнал інформує про нові видання навчальної та наукової літератури з фізики, проводить конкурси, публікує рецензії. Видає серію наукової та навчальної літератури з фізики в серії „Бібліотека „Світ фізики”.

Вітаємо всіх, хто причетний до творення журналу, наших авторів, читачів.

На 2 стор. обкл. – фрагменти з історії журналу „Світ фізики”.

**Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”**



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Свросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища фізики

Толок Володимир. Енергетика: сьогодні і завтра
Лукіянець Богдан. Нанотехнологія: що це таке?

2. Фізика України

Ранюк Юрій. Лев Шубніков. Сторінки життя

3. Фізика світу

Шопа Галина. Нащадок щасливої випадковості

4. Актуальні проблеми...

Шопа Галина. Десять років ТЮФу – здобутки та проблеми

5. Нобелівські лавреати

Гальчинський Олександр. Нові таємниці електрона

6. Олімпіади, турніри ...

Теоретичні завдання III (обласного) етапу
Всеукраїнської олімпіади з фізики 2002 року
Теоретичні завдання IV етапу
Всеукраїнської олімпіади з фізики 2002 року

7. Творчість юних

Григор'єв Іван. Дзига п'ятачок
Лесівців Віталій. Дивовижний кремнезем

8. Олімпіади, турніри ...

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської
олімпіади з фізики 2002 року (8, 9 кл.)

9. Інформація

10. Гумор

11. Реальність і фантастика

Гальчинський Олександр. Щось про воду

3

14

18

21

25

28

31

34

38

41

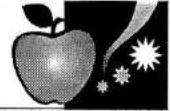
42

45

47

48





ЕНЕРГЕТИКА: СЬОГОДНІ І ЗАВТРА

Володимир Толок,

член-кореспондент НАН України,

професор Харківського національного університету імені Каразіна

Енергетика – основа економіки. Рівень розвитку будь-якого суспільства визначається кількістю енергії, що споживається на душу населення. Її потребують усі види діяльності Людини (Думаючої – homo sapiens): потреби повсякденного побуту, техніки (промисловість, транспорт, зв'язок), медицина, багатоманітність науки і культури. Сьогодні понад три чверті енергії, що споживається людством, виробляється під час спалювання органічного палива: вугілля, нафти, природного газу, біомаси рослин. Розподіл її використання в нашому світі доволі своєрідний: 20% населення споживають 80% енергії, а 80% населення лише 20%.

Потреби енергії на Землі невинно зростають, і звісно, якими б не були її енергетичні запаси, вони неминуче вичерпаються. Складається невтішна картина: Природа створювала запаси впродовж мільйонів років, а Людина – думаюча (!) своїм прагненням прогресу як марнотратний легковажний нащадок прагне використати їх за доволі короткий час.

Є чимало країн, що взагалі не мають власних запасів природного палива і змушені його імпор-

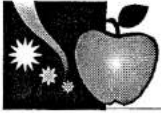
тувати. Багаті ж родовища органічного палива завжди були і залишаються причиною територіальних претензій, конфліктів і просто відвертого тероризму.

Оцінюючи перспективу, варто враховувати, що з вичерпуванням природних енергетичних запасів нашої планети, ціна органічного палива неминуче зростатиме.

Ситуація з використанням корисних копалин, як пального в сучасних масштабах наводить на невеселі роздуми. Наприклад, лише одна електростанція потужністю 1000 мегават, спалює впродовж року 2500000 тонн вугілля, „виробляє” 6500000 тонн вуглекислого газу, 9000 тонн двоокису сірки, 4500 тонн окислів азоту, 450 тонн важких металів. В атмосферу потрапляє від 500 до 700000 тонн золи. Це спричиняє в деяких місцях Землі забруднення атмосфери, підвищує середньорічну температуру всієї планети. Спалювання органічного палива зумовлює збіднення атмосфери киснем – „головного продукту живлення” тваринного світу, яке збігається ще й з неконтрольним вирубуванням лісів – виробників кисню.



*Акад. Б. Патон (президент АН УРСР), член-кор. В.Толок (ХФТІ),
акад. А.Александров (президент АН СРСР)*



Якщо природних запасів вугілля (10^{12} т) за сучасних темпів використання може вистачити років на 250, то запаси нафти ($9,510^{11}$ т) і газу ($1,2 \cdot 10^{14}$ м³) вичерпаються значно раніше, за 40–50 і 60–70 років відповідно. Крім цього, значення їх як цінної органічної сировини для потреб хемії синтезу нових речовин невинно зростає. Як зазначив ще понад 100 років тому Менделєєв (1896), нафта – не пальне, її спалювання – величезна розкіш, „де все одно, що спалювати асигнації”.

Використання інших джерел енергії: падаючої води (гідроелектростанції), припливів, торфу, горючих сланців, а також енергії вітру і хвиль Світового океану, тепла земних надр, за оцінками МАГАТЕ, має лише локальне значення; кардинально розв'язати проблему енергозабезпечення суспільства вони не допоможуть.

Найпривабливіша, екологічно чиста (по суті ідеальна, яка заклала енергетичні запаси і зумовила життя на Землі) енергія сонячного випромінювання теж не допоможе розв'язати проблеми. Сонячної енергії сьогодні вже не достатньо, щоб задовольнити „апетит” одного із видів земних істот – homo sapiens.

Оцінюючи перспективи енергозабезпечення нашої планети, слід врахувати, що її населення збільшується щодня на 250000 осіб. Щоб підтримати енергоспоживання на рівні 2,5 кВт на одну людину потрібно вводити в дію щодругий день один реактор масштабу Чорнобильського.

Отже, існує актуальна проблема енергетичного забезпечення для розвитку людського суспільства, що потребує негайного розв'язання.

Де ж вихід?

Ядерна енергетика

I. Атомна енергія

Що ж хотіла приховати природа? Отже, розумна Природа люб'язно приготувала Людині свої енергетичні запаси у вигляді вугілля, нафти та газу в уже придатному для споживання вигляді. Однак найенергоємніше „паливо” вирішила приховати, як кажуть, від біди подалі. Людям задовольнитися б щедрим подарунком (як і вчинили мудрі хеміки, обмежившись лише роботою з атомами), але зростаюча потреба накопичення життєвих благ штовхає людей на фатальні вчинки. Це й зробили неспокійні фізики, яким заманулося проникнути в саме серцевиння атомів – їхнього ядра.

Це ж треба було здогадатись, щоб з 1000 тонн важкої уранової руди (U_3O_8), отриманої на родовищах, коштом величезних зусиль, виділивши з них лишень 1 тону урану (^{238}U), зі ще більшими зусиллями на спеціальних заводах видобути з цієї тонни мізерну частину (0,72%) потрібного ізотопу урану-235 (^{235}U). Потім, зібравши певну його кількість до купи, із задоволенням спостерігати за тим, як ядра цієї речовини розлітаються на уламки, внаслідок чого відбувається потужний вибух небаченої потужності.

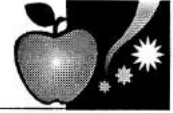
Зрозумівши, як це робити, рішучі бізнесові американці 6- та 9-го серпня 1945 року для початку скинули два таких „подарунки” на голови жителів двох японських міст, знищивши майже 300 тисяч собі подібних, хоча й японців.

Не задовольнившись ефектом „роботи” своїх бомб „Малюка” та „Товстуну” в Японії, США 1946 року продемонстрували дію атомної зброї в Тихому океані, на атолі Бікіні, запросивши на це видовище представників багатьох країн, звісно ж, і з СРСР. Всі мали побачити – у Світі з'явився великий „Господар”.

Ситуація потребувала негайних дій, і в Радянському Союзі почалася безпрецедентна за своїми масштабами робота зі створення протидії „зарозумілим янкі”. За фантастично стислі терміни було створено нову атомну промисловість. Десятки заводів, науково-дослідних інститутів та конструкторських бюро, тисячі інженерів і робітників робили спільну справу. До неї залучили найкращих учених. Наукове керування всім Урановим проєктом очолював академік Ігор Васильович Курчатів. Величезний ентузіазм, часто пов'язаний з небезпекою для здоров'я та життя людей, і сувора виконавча дисципліна розв'язали складне завдання. І 29 серпня 1949 року перша радянська атомна бомба РДС-1 вибухнула на полігоні поблизу Семіпалатинська.

У США – шок. Розрахунок на те, що СРСР потрібно не менше десяти років для того, щоб наздогнати США, не виправдався. Монополії на надмогутню зброю вже немає. Отже, довелося змінювати стратегію, подумати про безпеку власних міст.

Обом наддержавам тепер можна було, натішившись ефектами від жахливих для решти світу вибухів, впритул зайнятись створенням мирної



енергетики. Контролювати процес *поділу* атомних ядер і, не доводячи до вибуху, спокійно використовувати тепло, яке виділяється при цьому. Так з'явилося джерело ядерної енергії, яку в побуті назвали атомною.

Однак слід зазначити, що це джерело енергії, звісно, не могло бути невідомим всесильній Природі: ще 1,8 мільйонів років тому вона його випробувала у глухій Африці, на сучасній території Габону. За 100 тисяч років такий природний реактор випрацював 10 мільярдів Вт-років (!). Це встановили французькі вчені, врахувавши період напіврозпаду ^{235}U , виходячи з того, що його кількість у „вихідному” ^{238}U у цьому місці становила всього 0,62%, це тоді, коли в „спокійних” родовищах вона дорівнює 0,72%. Але тоді Природа, напевно відчувши, що це може загрожувати життю самої планети, розумно вирішила приховати все від майбутніх людей. На жаль, не вдалось „Докопались”.

Використання атомної енергії знизило гостроту енергетичної проблеми в світі. З моменту запуску першої промислової атомної електростанції – АЕС (1954 р. Обнінськ, СРСР) роль АЕС у виробленні електроенергії в світі швидко почала зростати.

Частка АЕС у виробництві електроенергії у всьому світі зросла з 4% 1973 року до 24% – 1990. Ще десять років тому внесок атомних електростанцій у загальне виробництво електроенергії становив: у Франції – 70%, Бельгії – 66,5%, Швеції – 52%, Японії – 24%, США – 16%, Росії – 12%. В Україні майже половина всієї енергії – атомна.

Швидкий розвиток атомної енергетики ґрунтується на низці важливих чинників. Насамперед це велика енергомісткість ядерного палива. АЕС можна розташовувати на будь-якій віддалі від родовищ палива. Важливо, що атомні електростанції не споживають кисню. І нарешті для багатьох країн, навіть високорозвинених, які не мають власних запасів палива, атомна енергія просто єдине розв'язання енергетичної проблеми.

Водночас за даними МАГАТЕ, енергетичні запаси „потрібного” урану доволі обмежені ($2 \cdot 10^6$ т). Оцінки показують: якщо нині зробити всю енергетику атомною, використовуючи чинні реактори (з повільними нейтронами, в яких паливом є збагачений уран, а саме його ізотоп – 235), то так пропрацювати вдасться не більше 40 років.

Виходом з такої ситуації може бути розроблення способів використання інших радіоактивних елементів: насамперед плутонію, торію, незбагаченого урану. Зокрема реактори-помножувачі, (брідери, на швидких нейтронах), можуть відтворювати в зростаючих кількостях ядерне паливо, забезпечуючи роботу електростанцій. Однак виробництво плутонію, на жаль, пов'язане з накопиченням „ядерної вибухівки”... А це може довести тільки до підвищення міжнародної напруженості.

Зараз у світі видобуто величезну кількість уранових концентратів. Наприклад, лише Росія, Казахстан і Узбекистан 1992 року виробили відповідно 2200, 2500 та 2070 тонн урану, що становить майже 20% його світового виробітку. Потреба в природному урані сьогодні знизилась, бо не має потреби виробляти плутоній і високозбагачений уран для нової ядерної зброї. Використання вже накопичених його запасів, а також і збідненого урану (у відвалах), який міститься на заводах зі збагачення урану („резерву”, зі вмістом до 0,3% ^{235}U), дає змогу, наприклад, Росії, навіть різко скоротити видобуток урану.

Все ж запасів урану для потреб енергетики очевидно достатньо на найближчий час. Однак „зворотним боком медалі” є доволі важлива обставина: АЕС, використовуючи мізерно малу частку видобутого „атомного палива”, створюють величезну кількість супутніх радіоактивних речовин у вигляді відходів. Наприклад, АЕС потужністю 1000 мегават за рік може споживати 30 тонн урану $^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$, майже стільки ж отримується відходів: з них 500 кг радіоактивних продуктів реакції, решта невиворілий уран-238. Небезпека полягає в тому, що ці відходи надзвичайно довго зберігають свою активність: якщо період напіврозпаду (зменшення активності вдвічі) стронцію дорівнює 24 роки, то у плутонію – 24 тисячі років, урану – 4,5 мільярдів років (!). Ці елементи видобували із розсосереджених рудних залягань, руда збагачувалась, радіоактивність концентрувалась. Тепер ці відходи – довголітнє джерело зараження навколишнього середовища.

Для порівняння: видобування 1 т вугілля дає 3 т відходів і 0,3 т при споживанні. Виплавлення 1 т сталі – відходів 5–6 т і 0,5–0,7 т при переробленні. При видобуванні 1 т радіоактивних речовин відходи зростають до 5–10 тисяч (!) тонн.



Створюючи такі захоронення, ми залишаємо нащадкам, навіть не дуже далеким, не зовсім приємні „сюрпризи”. Гарний привіт з минулого! Дай Боже, щоб вони знаходячи ці сюрпризи, вдало їх використовували!

Надійне зберігання величезних запасів атомної зброї з потребою „перебирання” через 10–15 років стало проблемою.

Чорнобильська катастрофа дуже „зіпсувала реноме” атомних електростанцій. Справді її наслідки набули глобального характеру, в сотню разів перевищили і без ядерного вибуху розміри катастроф у Хіросімі та Нагасакі. Спонукає до роздумів ще одна можлива небезпека, яка таїться на АЕС, вони – „принадливий” об’єкт для терористів різного калібру, потенційними „багатотонними атомними бомбами”.

Через їхню велику небезпеку очевидна вимога розташовувати АЕС у зонах з мінімальною сейсмічністю і подалі від великих міст. Остання обставина – проблема для густозаселених районів Європи.

Можна зрозуміти стурбованість „зелених” – українських і закордонних – долею умов життя на планеті. Чорнобиль дав їм обґрунтований привід підсилити свій „наступ на атом”. Однак вимога закрити АЕС, незважаючи на недоліки, всебічний розгляд загальної проблеми існування і розвитку суспільства, реально означає потребу „рубати гілку, на якій сидимо”. Нині і в найближчому майбутньому альтернативи атомним електростанціям у кардинальному забезпеченні суспільства електроенергією немає.

Як не прикро.

„Зеленим” у їхньому принципово правильному і похвальному стремлінні захистити людство сьогодні, в умовах реальної дійсності, можливо, корисно було б серйозно зайнятись „боротьбою з вугіллям”, головним джерелом забруднення атмосфери, враховуючи також й те, що в шахтах щорічно гинуть тисячі людей. Щодо атомної енергетики краще йти на тимчасовий розумний компроміс.

Справді, вимоги контролю роботи АЕС з боку громадськості, вдосконалення систем безпеки їхньої роботи, строгої дисципліни персоналу станцій, надійного довготривалого захоронення небезпечних радіоактивних відходів роботи АЕС, безпечного зберігання запасів атомної зброї, безумовно, розумні.

Водночас тут немає нічого нового – на сучасних АЕС по всьому світу ці вимоги виконуються, незважаючи на високі, здавалося б „додаткові” затрати. В історії ж з Чорнобильською АЕС фатальну роль відіграла не стільки економія засобів під час створення реактора РБМК, деяка недосконалість станції, скільки наше звичне, м’яко кажучи, недостатньо зважливе ставлення до техніки загалом. Використання ж атомної техніки вимагало значно вищого рівня технічної культури її експлуатації. Правильною є думка, що зарано було передавати АЕС з рук учених-розробників до рук експлуатаційників – міністерства енергетики.

Отже, атомна енергетика все ж потрібна. Альтернативи їй сьогодні немає. Поки немає.

А завтра?

II. Термоядерна енергія

Термояд

Десь 1938 року газета „Піонерська правда” публікувала науково-фантастичну повість „Таємниця простої води”. Темою фантастики було використання морської води як палива для двигунів внутрішнього згоряння військових кораблів. Автор вражав читачів думкою про безмежні запаси такого нового палива у Світовому океані.

Фантастика з’ясувалось недовговічна: вже через 15 років світ вразила потужність вибуху водневої (термоядерної) бомби, здійсненого в СРСР. Основною компонентою палива для неї став важкий водень, який входить до хемічної формули води.

Втім це й було прийнято в ХХ сторіччі, найновіші досягнення науки, насамперед використали як зброю. Однак заради справедливості, варто зауважити, що ще до вибуху цієї бомби, на початку 50-х років було розпочато таємні роботи з використання термоядерної енергії у США, Англії та Радянському Союзі.

У СРСР керовані термоядерні реакції почали вивчати під керівництвом І. Курчатова за повної підтримки уряду. Як відомо, до цього Курчатов успішно розв’язав актуальну проблему розроблення ядерної зброї та створення атомних електростанцій. А 12 серпня 1952 р. у Радянському Союзі успішно випробували, розроблений під його науковим керівництвом, перший термоядерний заряд для транспортабельної водневої бомби, величезну енергію для якої давала некерована термоядерна реакція.



Якщо в розробленні атомної зброї радянська розвідка і могла відіграти якусь роль, зумівши отримати інформацію про схему бомби, то в цьому випадку все було інакше. У радянському термоядерному заряді було використано принципово нове термоядерне паливо – тверда хемічна сполука – дейтерид літію (${}^6\text{LiD}$), яке в американських зарядах почали використовувати значно пізніше.

Радянський термоядерний заряд був готовою авіаційною бомбою, енергія вибуху якої становила 10^{13} – 10^{14} Дж, що відповідає масштабу потужних землетрусів.

В американських же експериментальних зарядах, випробуваних 1951 року („Джордж”), використовувалися малі кількості дейтерію і тритію. За зауваженням американського фізика Р. Джастрова, це було... „швидше грою на публіку, ніж справжнім експериментом... Використання величезної атомної бомби для ініціювання реакції у невеликій бульбашці з дейтерієм і тритієм нагадувало застосування доменної печі для підпалювання сірника”.

1953 року в безпрецедентній гонці з розроблення „абсолютної зброї” відбулася зміна лідера – Радянський Союз випередив США.

Що ж це таке термоядерна реакція („термояд”)? Чому виникла проблема *Керованого Термоядерного Синтезу (КТС)*?

На відміну від „видобування” атомної енергії під час *розпаду* важких елементів на легші, термоядерна реакція, навпаки, реакція *злиття* легких елементів з утворенням (синтезом) важчих. В обох випадках утворюються речовини, маса яких менша від первісної сумарної маси речовин, що вступили в реакцію („дефект маси”). Ця „зайва” маса і переходить в енергію нових часток відповідно зі знаменитою формулою Айнштейна $E = mc^2$, (де E – енергія, m – маса, c – швидкість світла).

Два ядра можуть „злитися”, якщо їх зблизити на відстань, меншу за радіус дії ядерних сил (10^{-13} см). Однак вони „пручатимуться” з тієї причини, що мають однаковий, позитивний заряд. Потрібна зовнішня сила, що переборює цей опір. Треба прискорити рух ядер назустріч одне одному і забезпечити досить високу частоту їхніх зіткнень між собою, яка найефективніша під час хаотичного руху. Це означає, що треба надати цьому „ядерному співтовариству” потрібної температури.

А щоб реакція почалася раніше і виділюваної в результаті неї енергії було більше, треба, щоб ядер було достатньо багато в одиниці об’єму.

Для цього треба протримати плазму впродовж часу, за який повинна „зайнятись” реакція – забезпечити достатній „*час життя*” нашого „пального” за потрібної температури і густини. Зрозуміло, енергетичний вихід реакції буде більшим, якщо ядро довше перебуватиме в таких умовах.

Отже, проблема КТС спочиває на „трьох китах”: температура плазми – T ; густина плазми – N ; час життя плазми – t .

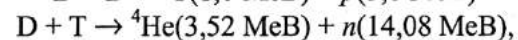
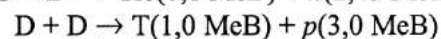
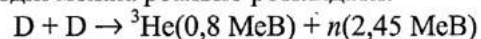
Останні дві умови пов’язані між собою критерієм Лоусона – мінімальна величина добутку Nt , за якого розпочинається самопідтримувана реакція¹. Наприклад, для реакції $D + D$ (дейтерій – дейтерій) при температурі 400 мільйонів градусів (у земних умовах) має бути $Nt > 10^{16}$ см⁻³·с, для реакції $D + T$ (дейтерій – тритій) при температурі „всього” 70 мільйонів градусів $Nt > 3 \cdot 10^{14}$ см⁻³·с. Швидкість термоядерної реакції дуже швидко (експоненційно) зростає зі збільшенням температури, а вихід енергії – зі збільшенням Nt . Зауважмо, що критерій Лоусона дає змогу варіювати величинами N і t , збільшуючи чи зменшуючи одну за рахунок іншої у межах потрібної величини їхнього добутку.

Отже, відкриваються дві можливості здійснити термоядерну реакцію при потрібній високій температурі:

– плазму порівняно низької густини утримувати довго. Це стаціонарний режим. *Режим Сонця*;

– можна уникнути великих труднощів під час тривалого утримання гарячої плазми, якщо вдасться створити високу її густину. Це імпульсний режим. *Режим мікробомби*.

З майже двох десятків термоядерних реакцій сьогодні можна реально розглядати:



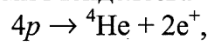
де D – дейтерій, T – тритій, ${}^3\text{He}$, ${}^4\text{He}$ – ізотопи гелію, n – нейтрон, p – протон (у мегаелектронвольтах показана енергія частинок).

¹Це означає, що надалі не буде потреби вводити в реактор енергію від зовнішніх джерел: виділеної енергії достатньо для „спалення” подаваних у реактор нових порцій „пального”. Так починає горіти в печі вугілля, спочатку розпалене дровами.



Остання реакція, як видно, завдяки нижчій температурі і меншому значенню $N\tau$, є „доступнішою”, однак у більшості експериментів фізики воліють поки вести дослідження тільки з дейтерієм через токсичність тритію.

З'ясувалося, що люди знову ж не придумали нічого нового, чого б уже не зробила Природа. У Всесвіті термояд – звичайне явище, він джерело енергії зір і, звичайно, нашого дорогого Сонця. На ньому (крім інших) йде реакція синтезу гелію з найпершого, „фундаментального” елемента періодичної системи Менделєєва – водню:



де p – ядро водню – протон, e^+ – позитрон. До речі, гелій як елемент і був уперше виявлений під час спостереження за Сонцем (Геліосом) і одержав звідти своє ім'я. Величезна маса Сонця (10^{30} кг) дає змогу утримувати його кулю діаметром 1392000 км, що складається з „сонячної речовини” – плазми з температурою майже 20 мільйонів градусів, величезною силою ваги (гравітації), Сонце все ж втрачає щомиті 4 мільйони тонн своєї маси через випромінювання.

Аналог у природі є. Термоядерна реакція отримана, як ми знаємо, і в земних умовах, але поки що як, вибух. Вибух же вийшов неймовірної потужності ще страшніший, ніж атомний.

Отже, актуальне завдання має розв'язання. Це важливо. Є два шляхи: вибухи чи плавне горіння, імпульсний чи стаціонарний. У першому випадку розумно створити мікробибухи (мікробомб) з високою частотою повторюваності, щоб мати в середньому позитивний вихід енергії.

Однак, мабуть, усе ж краще було б навчитись створювати свої невеликі, спокійно „працюючі”, штучні земні сонця.

Плазма

Дослідження проблеми керованих термоядерних реакцій ведуться у світі вже півсторіччя, а розв'язання досі немає. Причини: перша – Сонце тільки принциповий приклад, воно має величезну масу, що тривалий час гравітаційно утримує плазму (для реакцій синтезу вистачає „всього” 20 мільйонів градусів). Друга – у водневій бомбі реакція некерована. Дуже вона незручна для мирного використання. Третя причина: майже нічого не відомо про термоядерне „пальне” – речовину з температурою майже сто мільйонів градусів. Такого на планеті Земля ще не бачили.

Звичайно, плазма все-таки поширена й у нас у вигляді будь-якого полум'я, газових розрядів (іскор, дуг, блискавок). Зрозуміло, якщо нагрівати будь-яку тверду речовину, увесь час підвищуючи її температуру, то вона послідовно переходитиме з твердого стану в рідину, потім у газоподібну речовину, і, нарешті, у такий „газ”, у якому електрони відділені від атомів завдяки йонізації. Такий своєрідний газ складається з заряджених часток – позитивно заряджених ядер атомів і „усупільнених”, таких, що не належать конкретним ядрам електронів, які мають негативний заряд. Цей йонізований газ і є плазмою.

Електричні сили, які зв'язують різноманітні заряди, забезпечують квазінейтральність плазмових утворень. Характерною властивістю плазми є те, що вона перебуває в постійному русі. Під дією електричних і магнетних полів унаслідок колективних процесів у ній легко збуджуються різні коливання і хвилі. Зростаючи в часі коливання породжують нестійкості, які призводять до появи турбулентностей, що пов'язується як з нагріванням плазми, так і з явищами переносу речовини й енергії.

Наприклад, у ній існують унаслідок флуктуації щільності зарядів постійні власні (ленгмюровські) коливання, частота яких ω „повідомляє” зовнішньому світу про густину плазми N :

$$\omega^2 = 4\pi N e^2 / m_e,$$

де e – заряд електрона, m_e – його маса.

Отже, у повільних темпах розв'язаннях проблеми КТС є „винна” плазма, а якщо серйозно, наш недостатній рівень знань про неї. От і виходить, щоб вирішити практичне завдання, створити термоядерний реактор, потрібно створити науку про плазму – фізику плазми. Така сьогодні роль науки в житті суспільства.

Наша „земна” плазма з температурою не більше десятків тисяч градусів зовсім не придатна для розв'язання проблеми КТС. Водночас зрозуміло: якщо „спрацювала” бомба, отже, потрібні умови („три кити”) для цього все ж були. Бомба – річ військова, ось для неї у вигляді „запалу” і була використана інша бомба – атомна. Її могутній вибух мільйонами атмосфер і дав змогу стиснути „термоядерне пальне” (стисненням нагрівається газ) настільки, що його температура T й густина N перевершили критичну величину за час вибуху. Критерій Лоусона, потрібне значення $N\tau$, під час короткочасного вибуху отримувався за рахунок дуже великого N (до 10^{26} см⁻³).



Завдання КТС

Отже, умови одержання термоядерної реакції визначені. Як же приручити „трьох китів“?

Можна розділити цю проблему на дві: створити і „нагріти“ плазму з потрібної речовини, а потім втримати в такому вигляді, поки реакція не „займеться”. Однак такий поділ дуже умовний та означає тільки те, що у розв’язанні важкої проблеми ми змушені тимчасово використовувати аналітичний підхід. Насправді обидва процеси тісно пов’язані і впливають один на одного.

У розв’язанні цих проблем використовуються важливі властивості плазми: на неї впливають електричні й магнетні поля. Заряджені частинки плазми можуть чи прискорюватися сповільнюватися в електричних полях, відхилятися, фокусуватися в магнетних.

Створення гарячої плазми

Щоб підвищити температуру плазми, потрібно прискорити її частинки і *термолізувати* їх, тобто додати їм хаотичного руху у просторі. Останнє може відбуватися завдяки зіткненням між ними чи як наслідок колективних процесів. Вся розмаїтість способів нагрівання плазми загалом зводиться до використання електричних полів, що прискорюють заряджені частинки.

Найпростіший спосіб – пропустити через плазму електричний струм. До неї прикладають електричне поле, що прискорює рухливіші частинки – електрони. У своєму русі електрони внаслідок численних зіткнень з важкими, менш рухливими йонами плазми віддають їм частину своєї енергії. Відбувається перемішування прискорених частинок, тобто підвищується температура всієї плазми.

Спосіб називається омичне нагрівання. Деколи його називають джоулевим. Процес нагадує нагрівання електричним струмом будь-якого провідника (наприклад, спіралі електроплитки).

Однак плазма є провідником незвичайним – виявляє свою дивну своєрідність. На відміну від металевих провідників, опір яких підвищується під час їхнього нагрівання, опір плазми з підвищенням температури, на жаль, навпаки, зменшується. Отже, і втрати енергії струму („на терті”) зменшуються, ефективність омичного нагрівання плазми знижується². Можливості такого нагрів-

вання обмежилися в експерименті майже 10 мільйонами градусів. Втім він може відігравати роль попереднього „розігріву” перед застосуванням ефективнішого способу нагрівання.

Водночас помітили, що зі збільшенням напруженості електричного поля, прикладеного до плазми, з деякого моменту з’являється нове цікаве явище – плазма інтенсивно нагрівається. З’ясувалося, що досягнувши деякої критичної величини напруженості електричного поля, електрони отримують між зіткненнями з йонами (на довжині вільного пробігу) енергії більше, ніж втрачають під час зіткнень. Утворюється потік безупинно прискорюваних („втікаючих”) електронів, що спричинює в плазмі коливання. Цей процес для наочності можна порівняти з впливом вітру на поверхню моря, який розгойдує хвилі. У результаті виникнення в плазмі колективних процесів виникає турбулентність, що призводить до її нагрівання.

Для відносно спокійнішого нагрівання плазми успішно використовуються змінні електричні поля. Один з ефективних способів нагрівання, що одержав практичне застосування в термоядерних установках – використання циклотронного резонансу: резонансу двох частот – обертання зарядженої частинки в магнетному полі й прискорюючого її зовнішнього високочастотного електричного поля.

Річ у тому, що частинки плазми, що є в магнетному полі, роблять навколо його силових ліній коловий рух з визначеною (циклотронною) частотою: $\omega = eH/mc$, (де e і m – заряд і маса частинки, H – напруженість поля, c – швидкість світла). Якщо зовнішня сила (електричне поле) прикладатиметься до „потрібної” частинки (йона визначеної маси і заряду) у потрібний момент із такою ж частотою, то можна вибірково істотно збільшити її швидкість, „розкручуючи” по спіралі, яка розгортається.

У плазмовому стовпі за допомогою періодично стискаючого його зовнішнього джерела енергії збуджуються хвилі, що поширюються уздовж магнетного поля, яке утримує плазму, потрапляють на ту його ділянку, де виконуються умови резонансу. Її називають „магнетним берегом”. Назва магнетний берег повністю обґрунтована. Мається на увазі наочна аналогія цього явища із загасанням звичайних морських хвиль напологому березі. Багато хто спостерігав, як величезні хвилі

² $R \approx T^{-3/2}$, R – опір, T – температура.



поступово „руйнуються” на пляжі. Енергія їхнього коливального руху переходить у теплову. Після шторму вода біля берега стає теплішою.

Існують й інші способи створення і нагрівання плазми: прямі, дугові й індукційні розряди в газі, „плазмові гармати”, які „вистрілюють” потоки плазми. Можна використовувати потужні лазери, потоки заряджених (а також нейтральних) частинок, швидке їхнє стискання.

Утримання плазми. Режим сонця

Це задача термоядерного реактора, який стаціонарно працює. Однак, як і чим тривало зберігати в земних умовах речовину з „неземною” температурою понад сотню мільйонів градусів, якщо температура найтугоплавкішого металу не перевищує чотири тисячі градусів?

Звичайно, насамперед – у повній ізоляції від матеріального – у вакуумі, за допомогою магнетних полів. На щастя, магнетні силові лінії „не бояться” будь-якої температури, „не згорають”, а зарядженим частинкам плазми можна „заборонити” рухатися впоперек цих ліній за допомогою сили Лоренца³. Здавалося б, варто оточити, скажімо, плазмову кулю замкнутими магнетними силовими лініями, і задачу розв’язано. Однак сьогодні створити за допомогою провідників зі струмом таку ідеальну замкнуту систему, щоб якась частина магнетних силових ліній не залишала об’єму плазми, неможливо. А частинки плазми, на жаль, вільно, як по рейках, уміють рухатися уздовж силових ліній.

У пошуках розв’язання розглядали тороїдальні магнетні пастки для плазми. Вони згорнуті у кільце соленоїдами (замкнуті котушки зі струмом), у середині якого магнетні силові лінії, саме і є замкнутими колами.

Тепер, якщо заряджені частинки плазми будуть слухняно, „по-науці”, рухатися тільки уздовж силових ліній магнетного полюса (як „нанизані”), вони ніколи не зможуть залишити пастки. Розв’язання знайдене...?

Однак плазма, виявляючи свою „непокірливу”, навіть підступну, з погляду експериментаторів, вдачу, виявилася здатною прориватися (уже не як скупчення окремих заряджених частинок, а в новій якості, як нова, *своєрідна* речовина і *впоперек* силових ліній до зовнішньої стінки такої пастки

– тороїда, у напрямку до радіального зменшення напруженості, „забороняючого”, поперечного до її руху магнетного поля.

Тиск плазми $P = nkT$ (де n – щільність частинок, k – стала Больцмана, T – температура) врівноважується тиском магнетного поля. Природно, що плазма рухатиметься у той бік, де магнетне поле слабкіше. Так тиск газу в металевій посудині видавлюватиме одну стінку, зроблену з гуми.

І все ж „норовливу” плазму вдалося втихомирити в тороїдальній камері дуже витонченим шляхом – створенням *ротаційного перетворення*. (Змусивши силові лінії, рухаючи по гвинтових траєкторіях, „навиватися” на плазмове кільце, із крутизною, що зростає по радіусу перерізу камери. Вони утворюють замкнуті магнетні поверхні, магнетні оболонки, що охоплюють плазму).

Термоядерні установки такого типу одержали назви *токамаків* і *стеллараторів* (зоряних генераторів). Вони – родичі, відрізняються тільки способом створення ротаційного перетворення. У токамаках за допомогою додавання двох магнетних полів: зовнішніми, створюваними обмотками, і поля струму, що тече по плазмі, у стеллараторах – тільки за допомогою зовнішніх провідників. На цих установках отримані найважливіші і вагомі результати в розробленні термоядерного реактора, що працює в режимі Сонця.

У такому реакторі навіть за ідеальних умов утримання доводиться миритися з втратою половини енергії – випромінюванням. (Правда, на щастя, саме завдяки неможливості утримуватися випромінюванню в зоні термоядерної реакції навіть на Сонці до нас доходить його світло).

Під час виконання умов „трьох китів” і критерію Лоусона, почнеться вже самопідтримувана термоядерна реакція, тобто енергія, що виділяється під час реакції, уже буде досить для „спалювання” нових порцій термоядерного палива. Реактор „запрацює сам”. Нейтрони – продукти реакції, проникаючи в замкнутий контур з рідким теплоносієм, гальмуватимуться в ньому і віддаватимуть свою енергію. Це тепло потім передаватиметься водяному контурові і далі вже звичайним для атомних електростанцій шляхом воно має використовуватися в турбінах для вироблення електроенергії. (Чи не правда спосіб усе-таки досить архаїчний для третього тисячоліття?).

³ $F = e/c[\vec{v} \cdot \vec{H}]$, (e – заряд частки, c – швидкість світла, v – швидкість частки, H – напруженість магнетного поля).



Режим мікробомби

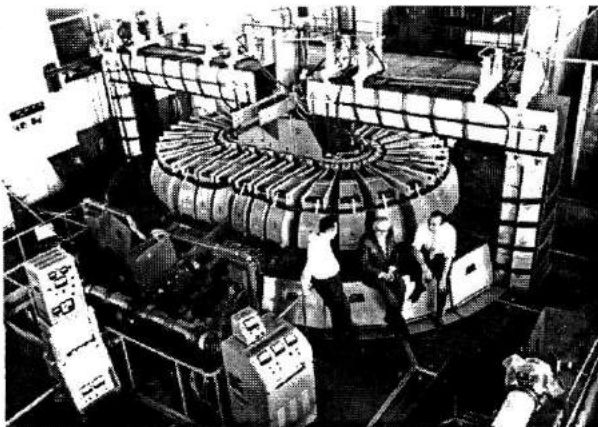
Це другий перспективний шлях одержання *керованої* термоядерної реакції. Однак у цьому випадку – керування означає одержання серій контрольованих за потужністю мікровибухів з наступним перетворенням їхньої енергії.

У дослідженнях, зокрема, використовується енергія потужних лазерних пучків, сфокусованих, на невелику (частки міліметра) крижинку дейтерію, що вільно падає у вакуумі. Впродовж десяти-мільйонної частки секунди відбувається вибух твердого дейтерію, утворюється плазма потрібної для реакції високої густини і температури. Отже, зникає потреба розв'язання важкої задачі утримання гарячої плазми, що, однак і, на жаль, „компенсується” труднощами виготовити надпотужні лазери, транспортувати багато пучків та надійно фокусувати їх на малій рухомій мішені, забезпечити ефективне поглинання в ній величезної енергії, досягнути величезного ступеня стиснення дейтерієвої плазми, високої частоти мікровибухів, щоб одержати достатню середню енергію.

Для розв'язання цієї проблеми можуть бути використані також пучки заряджених чи нейтральних частинок.

Куди йдемо?

Джерелом натхнення фізиків, що зайнялися проблемою керованих термоядерних реакцій, є (*нареши!*) можливе кардинальне розв'язання глобальної проблеми людства – енергетичної.



Стелларатор „Уран-1”. В. Супруненко,
О. Ахієзер, В. Толок

Насамперед було би вирішене найгостріше питання про енергоносії. Запасів основного термоядерного „пального” – важкого водню – дейтерію у воді Світового океану має вистачити на тисячоліття. ($25 \cdot 10^{12}$ тонн. На кожні 6 тисяч молекул води є одна, що містить важкий водень – дейтерій). Видобуток дейтерію не йде ні в яке порівняння з труднощістю видобутку вугілля і, тим паче, урану-235.

І до речі, океан належить усім.

Дуже привабливими здаються переваги термоядерних реакторів, особливо зрозумілі після Чорнобильської катастрофи. На відміну від атомного, термоядерний реактор (ТЯР):

- Не може вийти „з покори”, ввійти в аварійний режим, стати надпотужною бомбою. Кількість „палива” у реакторі обмежена, і теплоємність „робочої” плазми невелика. (Її густина у тисячі разів менша від густини повітря, яким ми дихаємо). Наприклад, тритію в плазмі перших реакторів буде всього 0,1 г, а в усьому реакторі майже кілограм. (Нагадаймо, у Чорнобильському реакторі було 180 тонн урану). У гіршому випадку, при аварійній зупинці термоядерного реактора відбудеться охолодження плазми, реакція просто „згасне”. Могуть постраждати тільки стінки вакуумної камери.

- Під час роботи ТЯР не дає довгоживучих радіоактивних відходів. Деталі реакторів можуть мати тільки наведену активність. Їхнє поховання не йде ні в яке порівняння з найгострішою проблемою поховання і перероблення величезної кількості довгоживучих небезпечних відходів роботи АЕС. Невелика кількість тритію в перших реакторах піддається ефективному контролю. Надалі можлива робота загалом без тритію.

- Під час реакції термоядерного синтезу виробляється значно більше енергії, ніж у реакції розпаду (атомної). Наприклад, енергоємність води значно більша, ніж нафти – літр води містить енергії стільки, скільки 300 літрах бензину.

- коефіцієнт корисної дії ТЯР дуже високий: під час реакції $D + T$ він дорівнює 42%, під час реакції $D + {}^3\text{He}$ – 80% (${}^3\text{He}$ – ізоотоп гелію).

- Робота ТЯР не пов'язана з виробництвом ядерної зброї.

- ТЯР можуть розташовуватися поблизу міст.

- ТЯР не є „привабливими” об'єктами для терористів.



У перспективі є:

– Принципова можливість значно (до 90%, як у звичайному трансформаторі) підвищити коефіцієнт корисної дії реактора шляхом прямого індукційного перетворення ядерної енергії в електричну. У цьому випадку відпадає потреба використовувати для вироблення електроенергії архаїчний пароводяний цикл.

– Надалі можлива робота ТЯР з реакцією $D + {}^3\text{He}$, що зовсім не дає нейтронів, тобто майже радіаційно-безпечна.

(Здається, руху „зелених”, що небезпідставно виступає проти атомної енергетики в шляхетному прагненні допомогти людству, можна було б, порадившись з фізиками, виступити в цьому похвальному прагненні й за – за нарощування зусиль у створенні термоядерної енергетики).

Дослідження проблеми керованих термоядерних реакцій ведуться в найрозвинутіших країнах світу: Англії, Німеччині, Росії, США, Франції, Японії. Україну в цьому співговаристві гідно представляє Національний Науковий Центр ХФТІ у Харкові. Там термоядерні дослідження розпочалися 1956 року під керівництвом академіка К. Сінельникова за завданням академіка І. Курчатова.

Під час досліджень за чотирма довгостроковими науковими програмами („Ураган”, „Юпітер”, „Пучок” і „Булат”) в Інституті виконаний великий комплекс досліджень з фізики плазми з наступним використанням цих результатів для розв’язання конкретних проблем керованого термоядерного синтезу. Розроблено ефективні методи створення „гарячої” плазми для стеллараторів – високочастотний (йонний циклотронний резонанс) і турбулентний. Останній зареєстрований як спільне відкриття № 112 ХФТІ і ІАЕ ім. Курчатова. Отримано щільну плазму з температурою понад десять мільйонів градусів.

На установках типу „Юпітер”, які запропонував співпрацівник ХФТІ О. Лаврентьев, проведені дослідження щодо утримання „спокійної” плазми. Основна ідея цієї пропозиції полягає в утриманні йонів, що беруть участь у реакції (дейтерію, тритію чи інших), у потенційній ямі електронної хмари, що утримується системою електричних і магнетних полів.

Програма „Пучок” – це комплекс досліджень процесів взаємодії потоків заряджених частинок з плазмою. Ці експерименти ініціювалися основною теоретичною працею А. Ахієзера і Я. Файн-

берга, в якій 1949 року передбачено ефект порушення в цих випадках пучкової нестійкості. Розвиток досліджень привів до створення нового напрямку у фізиці плазми – плазмової електроніки.

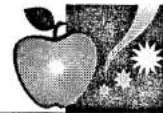
У рамках програми розроблено спосіб ефективного нагрівання плазми, („турбулентне нагрівання”), способи генерування електромагнетних коливань у широкому діапазоні частот, нові методи прискорення заряджених частинок. Напрацювання мають практичне застосування в нерівноважній плазмохімії.

Програма „Булат” – приклад використання досвіду термоядерних досліджень для розв’язання актуальних технологічних завдань промислового виробництва. Наприкінці 70-х років був запропонований і реалізований високопродуктивний спосіб КІБ і установки „Булат” для нанесення покриття багатофункціонального призначення, які значно підвищують зносостійкість інструмента, надійність і довговічність деталей машин. Спосіб був широко впроваджений у промисловість України і за кордон (Росія, США, Китай).

Великим „термоядерним” успіхом колективу Інституту стало розроблення і спорудження за участю харківських заводів серії сучасних термоядерних установок – стеллараторів „Ураган”. Можливість коректного вивчення особливостей стеллараторів привела, на відміну від токамаків, до їх удосконалення – створення перспективної модифікації – торсатрона, яку запропонував співпрацівник ХФТІ В. Олексин. У торсатроні, що має простішу магнетну систему, передбачена можливість захисту плазми в зоні реакції від сторонніх домішок. Споруджено кращу установку – „Ураган-3”. Вона – перше здійснення у світі зухвалого проекту, що не має аналогів, коли вся складна магнетна система прототипу реактора розміщена у вакуумі, у циліндричному баці (об’ємом 70 м^3), що відкачується одним (!) спеціальним електророзрядним насосом, який розробили в Інституті.

Результати досліджень утримання в „Урагані-3” високотемпературної плазми дали змогу прийти до аж ніяк не фантастичних думок про доцільність розміщення майбутніх термоядерних реакторів у космосі, де можна використовувати „дармовий”, природний вакуум. Ці реактори загалом уже можуть бути схожими на мініатюрні штучні сонця.

Успішні роботи зі стеллараторної програми ХФТІ (після невдачі американців, які „кинули тів” на перспективу стеллараторного напрямку в



термояді), стимулювали розвиток досліджень стеллараторів у Німеччині та Японії.

Національний Науковий Центр ХФТІ – єдиний в Україні й один з найбільших термоядерних центрів Європи. Постійна увага і велика ділова підтримка академіка І. Курчатова дали змогу створити в Інституті унікальний термоядерний комплекс, потужність якого послідовно нарощувалась до кінця 80-х років ХХ сторіччя. Багаторічне (1960–1985) міжнародне співробітництво сприяло високому рівню робіт.

Науковий і виробничий потенціал Інституту – *національне надбання України*, він і сьогодні має змогу продовжувати потрібні країні дослідження. Крім великих виробничих площ і потужної енергетичної бази (автономний енергокорпус потужністю до 400 мегават!), головним у ННЦ ХФТІ є ще кадри досвідчених плазмістів – термоядерників.

Їхня підготовка була і залишається можлива завдяки унікальній особливості, далекоглядно закладеної ще наприкінці 40-х років минулого сторіччя, коли в Харківському держуніверситеті за рішенням керівництва Уранового проєкту СРСР (акад. І. Курчатова) ректоратом (акад. І. Буланкін) разом із ХФТІ (акад. К. Синельников) було створено спеціальне ядерне відділення фізико-математичного факультету, що стало згодом самостійним факультетом – фізико-технічним. Сьогодні ділове співробітництво факультету з ХФТІ дає змогу ще під час навчання цілеспрямовано готувати студентів до наукової праці.

Ще не запізно відродити актуальні термоядерні дослідження, украй важливі для енергетики цивілізованої країни, якщо...

Проблема керованого термояду досліджується в світі вже майже п'ятдесят років. Швидкого переходу від бомби до реактора ще не вийшло. Разом з актуальністю й важливістю цієї проблеми з'явилися і труднощі в освоєнні енергії зоряної матерії. Однак значні успіхи в одержанні плазми високих параметрів у сучасних термоядерних установках не залишають сумнівів у досягненні успіху. Термоядерна енергетика природно „має прийти на зміну атомній.

Яку ж роль відіграє в цьому наша рідна Україна? Сьогодні оптимізм стосовно перспектив розвитку досліджень у термоядерній енергетиці, на жаль, більше ґрунтується на успіхах закордонних учених. І чи можна втішатися тим, що в цьому збільшуватиметься і внесок наших учених, які стали „закордонними“? Адже, починаючи із 1990 року, Україну залишило 70% математиків і 50% фізиків-теоретиків. Катастрофічне скорочення фінансування науки і освіти в Україні (науки – у вісім разів) уже змусило майже половину вчених змінити професію⁴.”

Ці цифри – не для слабонервових. Невже комусь сьогодні і справді вже здалась не разюче дрімучою, „новаторська“ думка, що науку можна „перевести“ на самофінансування? І що ж тоді розуміють, добродії, під поняттям *наука*?

Чи потрібні нові відкриття, що вимагають часу і величезних зусиль, розумного терпіння влади, яка фінансує роботу? Відкриття, що можуть визначити на сторіччя стан суспільства?

Який економічний ефект дали роботи Резерфорда, що експериментально довели наявність ядер в атомах? Адже він тоді вважав, що його відкриття не може мати практичного застосування. Пройшов час і що ж вийшло?

Розщеплення в Харкові атомного ядра (1932) дало початок розвитку ядерної фізики в СРСР. За книгою академіка А. Вальтера „Атака атомного ядра“ навчалися тисячі фізиків. А хто тоді міг сподіватися, що це якось окупиться? Але Український фізико-технічний інститут (УФТІ) одержав тоді від уряду зовсім не багатой держави значну підтримку, і це виправдалося.

Чи треба сьогодні розуміти відповідальним державним людям принципово важливу роль фундаментальної науки в долі країни? І хто має право вирішувати долю наукових напрацювань?

Безперечно, сучасний стан з фінансуванням науки можна поліпшити, *якщо* таке розуміння буде втілено в реальні дії.

Чого гідна країна, якій ніколи піклуватися про своє майбутнє, ніколи розвивати науку – стратегічно важливу продуктивну силу суспільства?

⁴ Проф. В. Астахова. Харківський гуманітарний інститут. Народна Українська Академія.

ТОЛОК Володимир Тарасович, член-кореспондент НАНУ, доктор фізико-математичних наук, професор, заслужений діяч науки України, завідувач лабораторії фізико-технічного факультету Харківського національного університету ім. Каразіна. Науковий керівник термоядерних досліджень у Харківському фізико-технічному інституті в 1966–1987 рр.



НАНОТЕХНОЛОГІЯ: ЩО ЦЕ ТАКЕ?

Богдан Лукіянець,

професор Львівського національного університету
„Львівська політехніка”

Якщо уявити собі ситуацію, що якийсь учений-фізик після 20-річного перебування десь за межами Землі повертається на неї, то можна було б зрозуміти здивування від ознайомлення з тематикою досліджень сучасних фізиків. Якісь „фулєрени”, „квантові точки”, „наноккомпозити”, „нанокристали” і, серед іншого, „нанотехнологія”. Ще 20 років тому нічого цього не було.

Тема нашої розмови – нанотехнологія. Здавалося б, що з самого терміна можна скласти собі уявлення про що йдеться. Нанотехнологія складається з трьох слів: метричної частини „нано-“ (10^{-9} частина від основної одиниці) та „технології”, що є сумою двох грецьких слів, які означають сукупність знань про способи та засоби проведення виробничих процесів. Отже, нанотехнологія – це технологія надмалих об’єктів. Поміркуймо далі. Якщо мова заходить про технологію, то слід пам’ятати, що вона не є приналежністю якоїсь конкретної галузі техніки чи виробництва. Це може бути технологія будівництва, але може бути і технологією лиття металу чи виробництва легкових автомобілів. Безумовно, можна створити комбайн величиною сірникової головки (підкували ж блоху!). Однак це викличе лише захоплення вмінням його творця. Практична цінність від такого комбайна – нульова. Висновок: не все мініатюрне – цінне. Тому з цього погляду нанотехнологія різко обмежується тими об’єктами, де їх мініатюрність має здоровий глузд. І тут можна припустити, що у нашому випадку йдеться про електроніку. Що ж таке електроніка? Для дідусів наших молодих читачів вона асоціювалась з вакуумними лампами (хтось з читачів може й не знає, що це таке, але не пишайтеся цим!), для батьків – з напівпровідниковими пристроями чи інтегральними схемами. Для сучасних читачів і наступних поколінь асоціації можуть бути зовсім іншими. Загальновідомий вплив досягнень електроніки на всі сфери діяльності людини. Від електроніки вона очікувала й очікує забезпечення своїх потреб малими, дешевими, надійними пристроя-

ми. У 60-х роках минулого сторіччя це привело до появи мікроелектроніки чи інтегральної електроніки. Це дало змогу досягти фантастичної концентрації елементів у пристроях. Що пересвідчитись, чи наші міркування про термін правильні, звернемось до довідникової літератури. В Українській радянській енциклопедії [1] термін „нанотехнологія” відсутній, у солідній Британській [2] – також. Цього терміна немає і в 20-томовій енциклопедії [3], присвяченій науці і техніці, та енциклопедичному словнику [4], присвяченому електроніці, виданому 1991 року. У двотомовому „Енциклопедическом словаре физики твердого тела” [5], виданому в Україні 1996 року, теж немає „нанотехнології”, але є „наноккомпозити”, „нанокристали”, „наноелектроніка”.

Давати визначення понять – справа не проста. Дивно, але нині відсутнє чітке розуміння, що таке „нанотехнологія”. Досить влучно охарактеризував ситуацію з цим поняттям американський біофізик Стивен Блок [6]: „Це залежить від того, кого спитати. Деякі люди використовують цей термін для визначення чогось, що роблять самі, на противагу до того, що роблять всі інші”. Тому, коли подаємо деякі цифри, то до них слід відноситися як до орієнтовних, зважаючи на нечіткість (розмитість) самого терміна. Проте обриси нанотехнології вже чіткі. Нанотехнологія – це технологія маніпулювання окремими атомами чи молекулами, щоб створити об’єкти з найменшими хоч би в одному з напрямів розміри від одного до кількох нанометрів, тобто приблизно одна сотисячна доля від людської волосини. Важлива ознака нанотехнології – здатність контролювати фізичні чи хемічні процеси, змога утворювати з них більші структури. Такі можливості виникли з появою сканувальних мікроскопів – тунельного чи атомного, що дають змогу відтворити зображення окремих атомів, а також зеувати їх. Створені нанотехнологією матеріали і системи через їхні нанорозміри матимуть небачені фізичні, хемічні, біологічні властивості, і можуть мати вплив на суспільство, яке сьогодні не просто спрогнозувати.



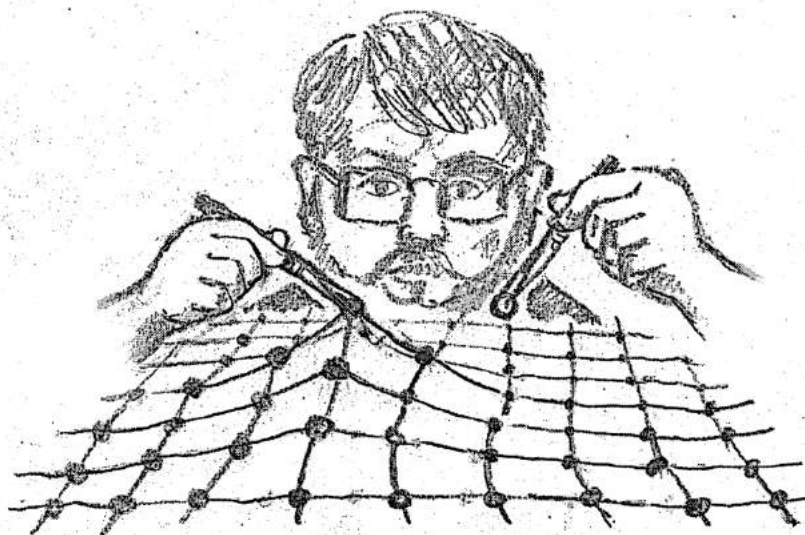
Хрещеним батьком нанотехнології вважають американського фізика-теоретика Нобелівського лауреата Річарда Фейнмана. На зборах Американського фізичного товариства в грудні 1959 року у Каліфорнійському технологічному інституті він виголосив провідницьку лекцію з майже 7000 слів „Місця у мікросвіті вистачить усім”, в якій проаналізував можливі явища і проблеми в електронних пристроях з максимальним зменшенням їхніх розмірів. У ній задовго до появи самого терміна „нанотехнологія” було передбачено її принципову можливість. Те, що учений передбачив 40 років тому, сьогодні є реальною – електронно-, йонно-, молекулярно-променевою епітаксією, атомне збирання, квантова та спінова електроніка, мікромеханічні системи тощо.

Нанотехнологія – найдинамічніша галузь науки і техніки. Вона є винятком серед інших галузей, на які, зазвичай, фінансування щорічно скорочується. На початку 2000 року президент США проголосив так звану Національну нанотехнологічну ініціативу, яка виразилася в істотній бюджетній підтримці нанотехнології. В інших країнах загальне фінансування нанотехнології

зросло з 316 млн 1987 року до 835 млн доларів 2001 року. Дослідження в галузі нанотехнології заповнили спеціальні журнали, вони є темою різних наукових конференцій.

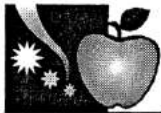
Сьогодні є двоякий підхід до мікроскопічних об’єктів: перший – рух від більшого до меншого, чим і займається мікроелектроніка, і другий – отримання мікрооб’єктів і мікроприладів шляхом їх буквально поатомного збирання, що і є власне нанотехнологія. Досвід першого підходу набагато більший, ніж другого, в якому робляться лише перші кроки. Зараз ми є свідками таких кроків щодо фундаментальних досліджень об’єктів, які завеликі, щоб їх вважати мікроскопічними, але замалі, щоб їх вважати макроскопічними. Такі об’єкти стоять на пограниччі між мікро- і макросвітами і можна бути переконаним, що вони володіють специфічними властивостями. Як приклад

такої впевненості можуть бути результати експерименту з дослідження електричного струму через нановимірні металеві контакти – так звані квантово-точкові контакти, які отримали голландські учені Барт ван Віс і Генк ван Гутен наприкінці 1987 року [6]. Під час вимірювання звуженої ділянки із систематичною її зміною виявлено чітку структуру провідності. Подальший аналіз виявив плато в такій характеристиці. Отриманий результат є демонстрацією квантування електропровідності. Подібне явище спостерігалось 1999 року у дослідженні потоку тепла крізь дуже тонкі дро-



тини нітриду кремнію. Було виявлено межу потоку тепла – квант теплопровідності, який визначає максимальну швидкість переносу в наноструктурах окремим хвилеподібним механічним коливанням між входом і виходом з неї. Такий квант визначає межу розсіювання енергії у мікроприладі, встановлену Природою, і людина може наближатися до неї, але ніколи не може переступити її і, отже, досягти меншого розсіювання.

Обидва, протилежні за способом отримання нанооб’єктів, підходи наштовхуються на одну і ту ж проблему – проблему поверхні. Проілюструймо це на кристалі. Кожен атом, який складає такий кристал, визначає його фізичні властивості. Однак роль у цьому різних атомів залежатиме від того, розташований цей атом – в об’ємі кристала чи на його поверхні. Нехай кристал має форму куба зі стороною 1 см, і складений з кубиків –



елементарних комірок – зі стороною 5 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$). Якщо обмежитися взаємодією атомів з їхніми найближчими сусідами, то кожен атом в об'ємі взаємодітиме з шістьма атомами-сусідами, тоді як поверхневий атом – лише з п'ятьма. Тому і роль у формуванні фізичних властивостей перших і других, як зазначалося вище, буде різна. У кристалі загальна кількість атомів $\sim 10^{22}$, тоді як з них лише $\sim 10^{14}$ – поверхневі, тобто становлять лише 10^{-8} частину від загальної кількості атомів, а тому ними можна знехтувати. Якщо сторону квадрата зменшити в 100 разів, то поверхневі атоми становитимуть вже 10^{-6} частину. Із зменшенням геометричних розмірів кристала потреба враховувати поверхневі атоми очевидна. Саме досягнення фізики поверхневих явищ, розуміння того, що відбувається на межі метал-напівпровідник чи напівпровідник-напівпровідник призвело до появи транзистора, а далі – інтегральних схем.

У нанотехнології багато інших проблем, які диктує Природа, і які можуть бути істотною перешкодою у створенні наноприладів (цей факт дуже часто ігнорують футурологи – див. далі). Одне з обмежень проілюструймо на прикладі наноелектромеханічних систем, які описав Майкл Рукс [6]. Здавалося б, що менший прилад, то чутливіший він до змін. Зокрема коливання нанооб'єкта може бути використане як сенсор маси. Відомо, що частота таких коливань визначається його масою. Будь-яке додавання до нього якоїсь маси спричинить зміну частоти коливань, що може бути зафіксоване експериментально. Вимірювання подібних частотних змін сьогодні настільки чутливі, що можна сподіватися на визначення маси молекули чи навіть атома. Саме тут і з'являється проблема: поверхня наноприладу може адсорбувати чи десорбувати побічні атоми чи молекули (питання про явище адсорбції у наноструктурі, його якісні й кількісні характеристики ще вимагають детального вивчення: порівняння з аналогічним явищем у випадку макрооб'єктів, м'яко кажучи, тут неоправдані). Для макроскопічних приладів явище адсорбції можна зігнорувати. Втім для нанооб'єкта, для якого адсорбована молекула чи атом становить значну частину його маси, адсорбцію зігнорувати аж ніяк не можна. Неконтрольована адсорбція призводитиме до нестабільності в роботі сенсора маси. До того ж ця нестабільність не обмежується лише самим сенсором, а може

стати справжньою перешкодою в роботі наносенсорів щодо опрацювання сигналів.

Серед додаткових проблем є проблема зв'язку між нанооб'єктом і звичайними приладами, тобто макрооб'єктами. Згідно з квантовою механікою процес вимірювання неминуче збурює систему, що досліджується. Якщо ми хочемо знати щось про наносистему, то маємо „доторкнутися” якоюсь давачем до неї. Однак тоді ми вже маємо справу не просто з нанооб'єктом, а з нанооб'єктом і давачем, який відрізняється від першого розмірами, а отже, ймовірно, іншими властивостями.

Лише глибоке розуміння явищ у наноструктурах може давати надію на практичне використання нанотехнології.

Проблеми нанодротів мають бути враховані у розв'язанні складнішого завдання електроніки – створення наноструктур, що є набором наноприладів, сполучених між собою нанопровідниками молекулярних розмірів. У сучасній мікроелектроніці сполучення між мікроприладами реалізується звичайними металічними дротинами, створених методом літографії. Якщо розв'язати проблему з нанодротинами у випадку наноструктури, то виникає така проблема – як ними сполучити наноприлади, щоб не пошкодити ні наноприладів, ні самих дротин, або не спотворити фізичних властивостей ні тих, ні інших? Чарльз Лібер у [6] звернув увагу на ще одну проблему вже після сполучення наноприладів, якщо лінії сполучення потрібно розмістити, наприклад, як двомірну сітку. Таку процедуру вдалося здійснити групі американських учених досить просто: вони зібрали наносхеми за допомогою потоків рідини. Так само як деревину сплавляють річкою, нанодротини можна впорядкувати в потрібному напрямку, спрямовуючи туди потік рідини. Наприклад, для створення прямокутної сітки спочатку утворюють паралельний набір дротин, а потім, змінивши напрямок потоку рідини на 90° , отримують перпендикулярний до попереднього набір нанодротин.

Ці та багато інших технічних проблем потрібно розв'язати перш ніж наноприлади займуть своє місце у повсякденному житті. Уже сьогодні проміжні результати, отримані в процесі розв'язання проблем наноструктур, використовуються на практиці. Наприклад, група вчених Стенфордського університету (США) використала вуглецеві нанотрубки для виявлення молекул газу. В групі



Чарльза Лібера [6] напівпровідникові нанодроти були використані як надчутливі детектори для широкого діапазону біологічних сполук, а модифікуючи поверхню нанопровідного польового транзистора молекулярними рецепторами, його перетворили у давач.

Будь-яке неординарне явище в науці і техніці завжди наштовхує на роздуми: які вияви матиме таке явище у майбутньому. Роздумують над цим не тільки фізики, а й письменники-фантасти. Зрозуміло, що оцінки чи прогнози фізиків та письменників-фантастів можуть відрізнятись, деколи досить істотно. Загалом науково-фантастична література відіграє позитивну роль. Вона, з одного боку, популяризує наукові і технічні досягнення, приваблюючи до науки і техніки тисячі читачів, а, з іншого, спонукає думати читача. Було б дивно, якби на нанотехнологію не звернули уваги сучасні письменники-фантасти. Письменникам-фантастам минулого (а вони були завжди – пригадаймо Арістофана, Дж.Свіфта, Жуля Верна, Г.Вельса, Кобо Абе, А.Кларка та багато інших) „фантазувати” було набагато простіше, ніж „фантазувати” на тему нанотехнології. Жулю Верну, що жив, як всі ми, у макросвіті простіше було спрогнозувати якийсь, хай навіть незвичайний, але макрооб’єкт (наприклад, підводний човен), ніж сучасному фантастові спрогнозувати щось у мікросвіті. В останньому випадку, з одного боку, письменник зі звичним для нього макросвітом, а з іншого, зовсім інший світ – мікросвіт зі своїми законами, які не завжди узгоджуються зі „здоровим глуздом” – пригадаймо хоча б квантування енергії чи постулати Бора.

На Заході є багато літератури, яка так чи інакше пов’язана з нанотехнологією. Читачеві, який цікавиться нею, я пропоную прочитати статтю Греєм Коллінз „Шамани мікросвіту” у [6]. Я зупинюся лише на особі сучасного письменника-фантаста Еріка Дрекслера, прихильники якого переконані, що їхній улюбленець випередив свій час на десятиріччя. Він 1986 року опублікував книжку „Двигуни творіння”, в якій описав самовідтворювані наномашини, яким під силу створити майже будь-яку матеріальну річ. Якщо так, то починається широке поле для розв’язання будь-якої

проблеми – продовження тривалості життя, приготування їжі, не вбиваючи жодної тварини тощо. Слід зазначити, що фахівці тлумачать дрекслерівські наномашини не більше, ніж абсолютно безпідставні марення. Один з противників передбачень Дрекслера Річард Смоллі – Нобелівський лауреат з хемії за 1996 року за відкриття фулеренів. Як необгрунтованість передбачень Річард Смоллі приводить такий простий розрахунок. Дрекслерівський наноробот створює речі за принципом „атом за атомом”. Хай шалено працюючи, він щосекунди впорядковує мільйон атомів. Отже, щоб створити навіть незначну за макроскопічними мірками кількість речовини, наприклад, моль її, при швидкості 10^9 з’єднань щосекунди їх треба $\sim 10^{23}$, що потребує $\sim 10^{14}$ або 19 млн. років. Тобто в „реальному” макроскопічному світі наноробот – не є щось реальне.

На думку Гарі Стікса [6], якщо розумні люди віритимуть таким маренням, то це неминуче призведе до небезпечних наслідків. Для прикладу, Білл Джой, керівник дослідних робіт Sun Microsystems, повіривши Дрекслерові, висловив занепокоєння щодо можливого неконтрольованого розмноження нанороботів, яке може створити загрозу для суспільства. А отже, на його думку, треба припинити роботи з нанотехнології. Ще один приклад. Zyvex – компанія, заснована одним з магнатів програмного забезпечення, спокушена дрекслерівськими наномашинами, дуже швидко втратила той оптимізм, з яким почала спроби практичного створення таких машин. Проте, маючи гіркий досвід у подібних ситуаціях, можна бути переконаним, що відсів у майбутньому надуманих цілей від реальних у нанотехнології буде не простою справою.

1. Українська Радянська Енциклопедія. 2-е вид. К.: Редакція УРЕ, 1982. Т. 7.
2. Britanica. 15-th edition. Encyclopedia Britanica, Inc.
3. McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology. 6-th edition. McGraw-Hill Publ.Co, 1987.
4. Електроника. Энциклопедический словарь. М: Сов. энциклопедия, 1991.
5. Энциклопедический словарь физики твердого тела/ Под ред. В.Г.Барьяхтара. К.: Наук. думка, 1996.
6. Світ науки. 2001. № 5(11).

Читач, якого зацікавила ця тема, може також завітати на Інтернет-сторінку Nanotechnology <http://planet-hawaii.com/nanozine>.



До 100-річчя від дня народження

ЛЕВ ШУБНІКОВ. СТОРІНКИ ЖИТТЯ

Юрій Ранюк,

професор Національного наукового центру
„Харківський фізико-технічний інститут”

У вересні 2001 року виповнилось 100 років від дня народження Льва Васильовича Шубнікова, організатора і першого керівника Криогенної лабораторії Харківського фізико-технічного інституту (ХФТІ). Того ж року виповнилось також сто років від дня народження К. Синельнікова. Шубніков і Синельніков приїхали до Харкова 1930 року, їм тоді було по 29. Л. Ландау приїхав 1932 року, йому було лише 24.

В останні роки життя Олександра Ахієзера мені часто доводилось з ним спілкуватись. Академік завжди повторював: „У нашому інституті було два справжніх учених – Л. Ландау і Л. Шубніков”.

Якщо ім'я Ландау всім відоме, його статус видатного ученого підтверджений Нобелівською премією (1962) та іншими високими званнями, нагородами і преміями, то у Л. Шубнікова були тільки фундаментальні наукові результати. Він навіть не був доктором наук. Його ім'я впродовж багатьох років було забуте. Тому і сьогодні доводиться докладати чималих зусиль, щоб віддати належне цьому видатному ученому.

Л. Шубнікову і його співробітникам належать чотири відкриття, які могли б бути відзначені найпрестижнішою нагородою для ученого – Нобелівською премією. Це – відкриття ефекту Шубнікова–де Гааза; ідеального діаманетизму надпровідників першого роду (ефект Мейснера); антиферромагнетизму і надпровідності другого роду. Всі ці здобутки були отримані всього за чотири роки (1934–1937).

Перша радянська п'ятирічка (1928–1932) виконувалась під знаком імпорту передових технологій і устаткування із розвинутих країн. Це був час залучення іноземних інвестицій, запрошення закордонних фахівців, нав'язання широких міжнародних наукових контактів. Ситуація в багатьох аспектах нагадує сучасну, з тією лише відмінністю, що тоді фахівці з Заходу масово їхали в Радянський Союз, а тепер навпаки – всі, хто може,

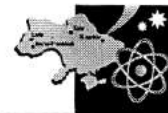


іде з країни. Іноземних фахівців вабила до нас романтика будови нового суспільства, гнала з дому економічна криза і фашизація Європи.

Лев Шубніков приїхав до Харкова не з Ленінграду, а з Лейдена, де працював чотири роки, звідки привіз для нашої країни нову науку – фізику низьких температур і нову техніку – криогеніку. Він привіз до Харкова також свої широкі наукові зв'язки – учені Лейдена як могли допомагали становленню першої радянської криогенної лабораторії. Харківською лабораторією низьких температур піклувалось керівництво Лейденської лабораторії – де Гааз і Кеєзом.

Багато вчених та інженерів – Мартін і Варвара Руемани, Вайсберг, Штеккель та інші приїхали з Європи працювати із Шубніковим.

Подібна ситуація склалась і в атомній фізиці. К. Синельніков працював два роки в Резерфорда і привіз від нього атомну фізику. Трохи пізніше у Резерфорда стажувався Лейпунський. А їхні колеги з Кевендиської лабораторії, включаючи майбутніх Нобелівських лавреатів Кокрофта і Капицю, відвідували Харків й активно допомагали своїм колегам.



Це ж саме стосується і теоретичної фізики. Її привіз із Європи після майже трирічного стажування Ландау, а також іноземці: Подольський, Еренфест, Вайскопф, Дірак, Плачек, Тісса та інші, які тривалий час працювали в Харківському фізико-технічному інституті. Працівник цього Інституту Борис Подольський став співавтором самого Альберта Айнштейна.

Лев Шубніков народився 29 вересня 1901 року у Петербурзі. Наприкінці 1918 року він вступив на математичне відділення фізико-математичного факультету Петроградського університету, де провчився три роки, поєднуючи навчання з працею лаборанта в Фізичному інституті при університеті. Після річної перерви, зумовленої вимушеним перебуванням за кордоном, Л. Шубнікова зарахували студентом, але вже третього курсу фізико-механічного факультету Ленінградського політехнічного інституту, який він закінчив влітку 1926 року. І там він навчання поєднував з роботою у Ленінградському фізико-технічному інституті (ЛФТІ).

На час закінчення інституту Л. Шубніков мав чималий дослідницький досвід. Тому 1926 року, відразу після закінчення інституту, вчорашнього студента скеровують на стажування в Лейденську криогенну лабораторію для того, щоб після повернення „влаштувати криогенну”, як висловився Йоффе, в ЛФТІ.

Лейденський період відіграв величезну роль у формуванні Шубнікова як фізика. Праця в сучасному науковому центрі з доброю експериментальною базою, науковими традиціями, творчою атмосферою і науковою школою, спілкування з видатними експериментаторами і теоретиками, участь у теоретичному семінарі П. Еренфеста, такі особисті його риси, як цілеспрямованість, велика працездатність, ентузіазм і зацікавленість фізикою сприяли тому, що за чотири роки Л. Шубніков став експериментатором високого рівня у галузі низькотемпературних досліджень, а також співавтором відкриття – низькотемпературних осциляцій електричного опору вісмуту в магнетному полі (ефект Шубнікова–де Гааза) – першого квантового осциляційного ефекту. Із Лейдена Л. Шубніков повернувся повністю сформованим дослідником з високою культурою фізичного експерименту, великим запасом наукових знань, перспективними науковими ідеями.

Як розповідав мені колись професор з Ужгорода І. Запісочний, який був присутній на Ученій раді в ЛФТІ, на якій Шубніков звітував про закордонне відрядження, його звіт був прийнятий більш ніж прохолодно. До того ж учений залишився осторожливим у важливих справах.

Зауважмо, що така ж доля спіткала і Ландау, коли він в ореолі слави повернувся із закордонного відрядження, ЛФТІ відштовхнув молоді таланти, як чужорідні тіла. Занадто високим був їхній науковий авторитет, а також багатьох не влаштовував їхній незалежний характер. Обох прийняв новий Український фізико-технічний інститут (УФТІ).

Згадаймо, що УФТІ організував і розбудовував Іван Обреїмов, який багато часу провів у тому ж Лейдені, обговорюючи з Шубніковим план створення нового інституту і його спрямованість на низькотемпературні дослідження. Вже сам лабораторний корпус інституту будували як криогенну лабораторію.

Втім і в УФТІ Л. Шубніков майже рік залишався без справ. І. Обреїмов пояснював це тим, що він сподівався, що криогенну лабораторію в Харкові очолить П. Капиця. Він вів з ним переговори. Втім 1931 року начальником лабораторії став Лев Шубніков.

Лев Шубніков був зразковим науковим лідером – відомим ученим, прекрасним організатором наукових досліджень, талановитим педагогом, що згуртував навколо себе творчу молодь, яку виховував власним прикладом. Учений зібрав висококваліфікований колектив інженерів, механіків і лаборантів (І. Корольов, В. Богатов, Е. Петушков та ін.), разом з якими восени 1931 року ввів у дію великий зріджувач водню, а 1932 – гелію.

Учений сформував колектив наукових працівників (Ю. Рябінін, О. Трапезніков, А. Судовцов, В. Хоткевич. Пізніше – Н. Руденко, М. Федорова, Г. Шепелев, Г. Мілютін, Л. Верещагін, С. Злуніцин та ін.), з якими одержав наукові результати світового рівня.

Він брав участь у дослідженнях з нейтронної фізики, які виконав у співавторстві з І. Курчатовим.

Багато уваги Лев Васильович приділяв прикладним дослідженням. Це розроблення і виго-



товлення посудин Дюара, кисневих апаратів для автогенного різання і зварювання металів, авіаційного двигуна, що працює на рідкому водні, дихальних апаратів для висотних польотів. А 1933 року він висунув ідею створити досліду станцію глибокого охолодження, яка запрацювала 1937 року. Вона була побудована поблизу вуглехемічного заводу і її основним завданням було розділяти та утилізувати газу, які виділяються з коксових батарей. Станція припинила своє існування під час війни. Реалізацією цієї ідеї Шубнікова слід вважати створення 1960 року в Харкові Фізико-технічного інституту низьких температур.

Лев Шубніков 1935 року очолив кафедру в Харківському університеті. А до цього він викладав на фізико-механічному факультеті Харківського механіко-математичного інституту.

З початком другої п'ятирічки ситуація в СРСР погіршилась. Наукові контакти з Європою були припинені, а іноземні учені були вислані з країни. Ті ж, хто забарився, були заарештовані.

Арешт чекав і на багатьох радянських учених, особливо тих, хто побував за кордоном. Л. Шубнікова заарештували 5 серпня 1937 року в його квартирі інститутського житлового будинку на вулиці Чайковського, відразу ж після повернення з відпустки. Розстріляли ученого 10 листопада 1937 року з нагоди 20-ї річниці Жовтневої революції. Чекісти відзначали це свято „трудовими успіхами”. Шубнікову було всього 36 років. Куля не тільки забрала життя видатного ученого, а й, напевно, залишила нашу країну без Нобелівської премії, бо посмертно її не присуджують. Нерідко цю премію доводиться чекати по декілька десятків років після здійсненого відкриття.



Л. Шубніков

Припускають, що прах Л. Шубнікова спочиває у Харкові на так званому Староєврейському цвинтарі на вулиці академіка Павлова. Нині там пустир, а восени 1937 року саме там ховали жертви, як говорили тоді на Заході, „великого терору”. Міська влада планує відкрити там меморіал. На початку наступного року мають з'явитися офіційні докази про місце поховання колишніх працівників ХФТІ – Льва Шубнікова, Льва Розенкевича і Вадима Горського.

Про наукові досягнення Льва Шубнікова читайте в наступному числі журналу „Світ фізики”.

Загадки Всесвіту

Міжнародна група астрофізиків, яку очолює Джон Уебб з Університету австралійського штату Новий Південний Уельс, визначила, що, принаймні, за останні 12 мільярдів років швидкість світла у вакуумі неухильно зменшувалася. Про це свідчать результати дворічних спостережень за наддалекими квазарами.

Перші результати були опубліковані 1999 року, холодно сприйняло вчене співтовариство. Відтоді астрофізики істотно збільшили точність вимірювань і кількість хемічних елементів, що формують досліджувані спектральні лінії. Тепер дослідники упевнено стверджують, що стала тонкої структури збільшувалася з часом. А отже, зменшувалась швидкість світла або ж зростав заряд електрона, саме вони визначають цю константу. Оскільки друге малоймовірне (хоча, за деякими даними, заряд електрона не є неподільним), то залишається прийняти зміну швидкості світла.

За матеріалами закордонних фізичних журналів



НАЩАДОК ЩАСЛИВОЇ ВИПАДКОВОСТІ

Вільгельм Конрад Рентген
(27.03.1845–10.02.1923)

Вільгельм Конрад Рентген (Wilhelm Conrad Röntgen) – видатний німецький фізик, високоосвічений природознавець, один з найталановитіших експериментаторів свого часу. Ім'я Рентгена – невід'ємна частина цивілізації ХХ сторіччя. Він досягнув значних успіхів у дослідженні механічних, теплових та електричних властивостей кристалів. Під час роботи у Вюрцбурзькому університеті (1895) він відкрив невидиме випромінювання, назване згодом рентгенівським. За це фундаментальне відкриття, що вплинуло на розвиток сучасної фізики, медицини, біології, хемії і низки промислових технологій, В.Рентгену присудили першу в історії фізики Нобелівську премію.

„Чи повинен фізик у своїй науковій праці поклатись на випадковість? Систематично впорядковувати експериментальні дані – це передусім важка праця. Здатність зрозуміти, що природа хоче про себе розповісти, аж ніяк не можна вважати ремеслом. Ті, з компетентних, хто не є вибраними, не обійдуться без крихти щастя. Вони мусять зважати на те, що осяяння приходить без будь-якого попередження; ні час, ні місце неможливо узгодити чи передбачити. Багато винаходів у науці або в техніці стали можливими завдяки сприятливому збігові обставин. Як би ми не планували свої дії, у них завжди є місце для випадковості. Так сталося і з рентгенівськими променями. Можливість їх відкрити природа дала багатьом попередникам Рентгена. І хоч усі вони бу-



До 100 років першої
Нобелівської премії з фізики

ли найкращими у своїй професії, їм зраджували розплющені очі, добросовісність, цілеспрямованість, смиренність. Це потрібно, аби завдяки щасливій випадковості зробити велике відкриття.”*

Вільгельм Конрад Рентген народився 27 березня 1845 року в Леннепі, невеликому містечку в Пруссії (Німеччина).

Батько Рентгена, Фрідріх Конрад, був фабрикантом і торговцем сукна, мати – Шарлота Констанція Фрогвейн. Фрідріх та Шарлота були двоюрідними братом і сестрою. Обоє походили з заможних леннепських набожних сімей, мати мала родинні зв'язки в недалекій Голландії. На початку 1848 року вони переселились до родичів у голландський Апельдорн. Оскільки батьки мушили змінити німецьке громадянство, Вільгельм Конрад Рентген у три роки став голландцем, а голландська мова – його рідною.

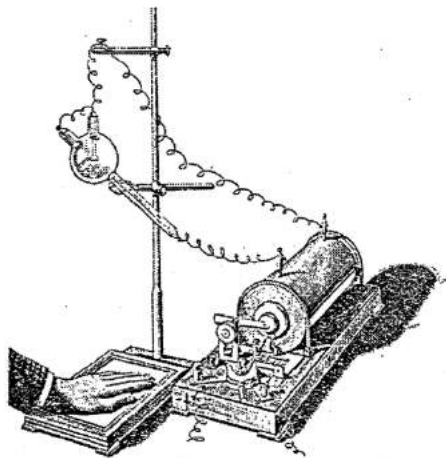
В Апельдорні Вільгельм Рентген до шістнадцяти років відвідував школу. Для подальшої освіти батьки відіслали його 1862 року до Утрехту. Там він жив у дружній родині професора хемії місцевого університету Яна Вілема Гуннінга. Згодом науковець згадував ті роки як одні з найщасливіших у житті. Навчання в Утрехтській технічній школі мало стати підготовкою до майбутньої професії Рентгена. Однак там не вивчали латинської

* Із книги І. Крауса „Вільгельм Конрад Рентген. Нащадок щасливої випадковості”/Пер. з чеської В. Іванової-Станкевич. – Львів: Євросвіт, 2002. – 84 с.



та грецької мов, що негативно позначалось на подальшому університетському навчанні випускників школи. Недосконале знання класичних мов завдало чималих клопотів Рентгену в академічній кар'єрі. За оцінками атестата, Рентген вчився дуже добре, він робив успіхи не лише з природничих предметів, а й у французькій, англійській та літературній німецькій мовах. До передчасного відрахування з цієї школи він спричинився сам. Один із його однокласників намалював крейдою на дошці карикатуру на не дуже улюбленого викладача. Коли Вільгельм її роздивлявся (сам він був поганеньким художником), до класу увійшов саме цей викладач і сприйняв карикатуру як неповагу до себе. Оскільки Рентген не виказав справжнього автора, то зі школи відрахували його.

Цей інцидент спричинився до вибору майбутньої професії Рентгена. Як випускник Утрехтської технічної школи він, очевидно, став би наступником свого батька. І хоча неприємний випадок його засмутив, а відрахування зі школи він вважав несправедливим, своєї мети – скласти випускні іспити – Рентген не покинув. У самостійній підготовці не забув і класичних мов. Мабуть уже тоді він обдумував конкретний університетський фах. Коли ж нарешті дійшло до приватного складання іспитів, усі зусилля звів нанівець несприятливий збіг обставин. Один з членів прихильної до нього екзаменаційної комісії несподівано захворів, а резервним екзаменатором виявився викладач зі школи, з якої його відрахували. Відтоді Рентген мав усталений погляд на об'єктивність іспитів: „Справжнім екзаменом професійної придатності є лише життя.”



Дослід Рентгена

У двадцять років Рентген облишив спроби записатися до Утрехтського університету; без атестата зрілості він міг бути лише *вільним* студентом. Його наукові інтереси були дуже різноманітні. Він відвідував не лише лекції з математики і хемії, а й з ботаніки та зоології. Якраз тоді вперше в його долі трапилась щаслива випадковість. Від колишнього однокласника Технічної школи він довідався, що в Цюріхському технологічному інституті умовою вступу є лише успішне складання вступних іспитів, а атестат зрілості не обов'язковий. Завдяки винятковим математичним здібностям, які він виявив у школі в Утрехті, та відвідуванню впродовж року університету, екзамени Рентген склав успішно.

Із осені 1865 року він став студентом Федерального технологічного інституту в Цюріху і 6 серпня 1868 року отримав диплом інженера-машинобудівника. Там В. Рентген привернув до себе увагу видатного німецького фізика Августа Кундта і той порадив йому зайнятися фізикою. В. Рентген прислухався до поради А. Кундта.

Вільгельм Рентген 1869 року захистив докторську дисертацію, став асистентом професора Кундта. Першим завданням, яке він отримав як асистент Кундта в Політехніці, було вдосконалення фізичного практикуму. Отримавши кафедру фізики у Вюрцбурзькому університеті, Кундт взяв із собою свого асистента.

У січні 1872 року Рентген одружився з Анною Берті Людвіг, донькою власника ресторану. Не маючи своїх дітей, подружжя 1881 року в дочерині шестирічну БERTУ, доньку брата В. Рентгена. Фінансова ситуація молодят була скрутною, оскільки допомога з Апельдорну була замала, а заробітної платні асистенти не одержували. Покращення фінансового стану сім'ї могло дати звання доцента. Приватний доцент міг навчати, а присутність на його лекціях слухачі оплачували самі. Та, незважаючи на Кундтову підтримку, звання доцента Рентген не отримав. Йому знову завадив *атестат зрілості*, пункт, який неможливо було обійти за статутом Вюрцбурзького університету. Все ж можна було подати запит в інше місце. І така нагода трапилась дуже швидко. 1872 року в Страсбурзі відкрили Німецький університет. Новий навчальний заклад потребував кваліфікованих педагогів найрізноманітнішого фаху. Серед фахівців, які створювали Страсбурзький універ-



ситет 1872 року, були Кундт і Рентген. Останній не мав іншого вибору, оскільки не хотів бути вчителем у гімназії. Через рік він став дійсним професором фізики Сільськогосподарської академії в Гогенгеймі (Німеччина), а 1876 року повернувся до Страсбургу, щоб читати там курс теоретичної фізики.

Експериментальні дослідження, проведені Рентгеном у Страсбурзі, стосувались різних галузей фізики, такі як теплопровідність кристалів і електромагнетне повертання площини поляризації світла в газах. 1879 року В. Рентген став професором фізики Гессенського університету, відмовившись від пропозицій очолити кафедри фізики в університетах Сні і Утрехту. 1888 року учений повернувся до Вюрцбурзького університету як професор фізики і директор Фізичного інституту, де продовжував наукові дослідження.

В. Рентген здобув славу кращого експериментатора свого часу і створив власну школу експериментальної фізики.

1894 року В. Рентгена обрали ректором Вюрцбурзького університету. У ті роки учений розпочав експериментальні дослідження електричного розряду в скляних вакуумних трубках.

Чим же прославився Вільгельм Рентген, за що йому випала честь стати першим Нобелівським лауреатом?

Він „не отримав першим”, а відкрив те, що не помітили до нього багато учених, він відкрив невідомі до нього Х-промені не в своїх, а в чужих катодних трубках, які тоді всюди продавались і широко використовувались. Скільки вмілих рук тримали катодну трубку за 40 років відтоді, як вона була винайдена! Серед відомих – німець І. Гітторф, який ще 1869 року спостерігав і описав катодні промені, англієць В. Крукс та українець І. Пулюй, який створив найдосконаліші на той час катодні трубки. ... „У грудні 2001 року минуло сто років від присудження першої Нобелівської премії з фізики. І це лише збіг обставин, що першим лауреатом був не Іван Пулюй, а Вільгельм Конрад Рентген. Немає сенсу гадати, якою несправедливою може бути випадковість. Це суто людські проблеми. „Науці абсолютно байдуже, кому буде

Із передмови Іво Крауса до українського видання книги „Вільгельм Конрад Рентген. Нащадок щасливої випадковості”/Пер. з чеської В. Іванової-Станкевич. – Львів: Євросвіт, 2002. – 84 с.

*приписане відкриття її таємниць”, – сказав славетний Майкл Фарадей.”**

Усе розпочалось пізно ввечері 8 листопада 1895 року, коли В. Рентген спустився в лабораторію, щоб попрацювати перед сном. Учений погасив світло – і о диво ... міраж? На столі мерехтіло зеленкувате сяйво. Воно випромінювалось зі склянки платиносинеродистого барію. Ця речовина люмінесцює під дією сонячного світла, а її свічення зникає за долі секунди, як тільки вона знову опиняється в темноті. Але тут воно чомусь не гасло. В. Рентген зауважив, що забув вимкнути катодну трубку. Клацання вимикача – і свічення як не було. Учений знову вимкнув прилад, і свічення з'явилося. Невже трубка викликає це свічення? Але вона так далеко від кристалів та ще й під світлонепроникним ковпаком. Якщо поширенню Х-променів не заважає ні повітря, ні картонний ковпак... і вчений додатково перекривав промені всім, що було під рукою, – книжкою, дошкою, олов'яною фольгою, колодою карт. Всі непрозорі для світла матеріали виявились прозорими для Х-променів! В. Рентген просвітив скриньку з набором тягарців. Характерні обриси металевих циліндриків було видно значно краще, ніж слабку тінь дерев'яної скриньки. Він взяв свою рушницю, щоб її просвітити і побачив рухомі тіні живого скелету... Так, це кістки його руки, які менш прозорі ніж оточуючі їх м'які тканини. В. Рентген у науковому пошуку, йому не дає спокою таємнича природа Х-променів, він придумував все нові й нові досліди, неодноразово перевіряв результати, перш ніж довіритись їм. І нарешті через сім тижнів добровільного ув'язнення в лабораторії учений 28 грудня 1895 року направляє в Фізико-медичне товариство Вюрцбурзького університету 30-сторінковий рукопис „Про новий вид променів”. Свою працю В. Рентген надіслав не тільки до Вюрцбурзького фізико-медичного товариства, а й за іншими адресами. Зокрема професорові Віденського університету Ф. Екснеру, а той, отримавши рукопис, ознайомив з ним своїх працівників. Серед них був Е. Лехер, асистент Віденського університету, який цей текст передав своєму батькові, редакторові віденської газети, і переконав його поставити цю важливу наукову новину в число, що вийшло у світ 3 січня 1896 року. Сенсаційну новину підхопили інші видання, і вона майже одночасно стала відомою широким колам європейської громадськості.



Цікаво й те, що вперше рентгенограму отримав не В. Рентген. Це було зроблено у США в фізичній лабораторії Пенсильванського університету ще 1890 року. Німецький фізик М.Лауе пізніше коментував цей факт так: „Хоч ми знаємо з біографії Рентгена, яку написав Глассер, що по той бік океану є рентгенограма, яку отримали ще 1890 року, однак істинна природа цієї фотографії була встановлена лише після відкриття Рентгена”.

Незважаючи на те, що В. Рентген виконав класичні дослідження електричних та магнетних явищ у кристалах, які послужили одним із наріжних каменів електронної теорії, його ім'я для всіх насамперед пов'язане з Х-променями. Їх відкриття затьмарило все те, що він зробив до та після цього.

Вперше в історії 10 грудня 1901 року Нобелівську премію з фізики отримав Вільгельм Конрад Рентген за „відкриття променів, які пізніше назвали його іменем”. На урочисте вручення премії учений приїхав до Стокгольму, де отримав диплом та нагороду. Під час презентації член Шведської королівської академії наук сказав: „Можемо не сумніватися, якого великого успіху досягне наука фізика, якщо ця раніше невідома форма енергії буде добре досліджена”. Пам'ятну медаль ученому довелося чекати ще з рік, оскільки до дня вручення вона ще не була виготовлена. А ось Нобелівську лекцію, яку нобелянт за Статутом мав би виголосити, так ніхто й не почув. В. Рентген не прочитав її 1901 року і мав намір прочитати згодом, але відмовився поїхати до Швеції, що спричинило чимало чуток від його недругів. В. Рентген не запатентував свого винаходу, відмовився також від великих грошових сум, які пізніше йому пропонували підприємці. Грошову винагороду Нобелівського комітету учений передав для розвитку наукових досліджень у Вюрцбурзь-

кий університет, в якому він зробив своє відкриття. Єдина публічна лекція В. Рентгена про винахід Х-променів відбулася 23 січня 1896 року в аудиторії Фізичного інституту Вюрцбурзького Фізико-медичного товариства. Рукопис цієї лекції не зберігся як і більшість його наукових напрацювань, оскільки за заповітом Рентгена, всі його наукові праці, записки, щоденники були спалені непрочитаними. За своє життя В. Рентген написав 58 наукових праць. Коли йому було 76 років, він опублікував статтю про електропровідність кристалів.

Крім Нобелівської премії, В. Рентген був удостоєний багатьох інших нагород, зокрема медалі Румфорда Лондонського королівського товариства, золотої медалі Бернарда Колумбійського університету, був почесним членом майже всіх наукових академій, що існували на той час. У серпні 1921 року він став почесним громадянином Вюрцбургу.

Вільгельм Рентген любив природу, часто ходив на вершини Баварських Альпів, охоче займався греблею, ковзанами, санним спортом, любив коней і був прекрасним мисливцем, добрим садівником.

В останній день 1919 року після довгих мук померла його дружина Берта, їй було 80 років. Спільне життя подружжя тривало більше, ніж сорок вісім років. 1920 року В. Рентген відмовився від усіх посад у Мюнхені.

10 лютого 1923 року Вільгельм Конрад Рентген помер від важкої хвороби. За останньою волею Рентгена, його поховали поряд із дружиною і батьками у Гебені.

Не треба оплакувати смерть, після якої настає безсмертя. Ціцерон.

Галина Шопа

Загадки Всесвіту

Учені наблизилися до розуміння механізмів, що привели до створення Всесвіту. Мова йде про переважання матерії, яку ми спостерігаємо над антиматерією. Одразу після „Великого вибуху”, що дав початок нашому світові, кількість матерії й антиматерії була майже однаковою. За досить короткий проміжок часу вони знищили б одна одну. Однак матерії чомусь виявилось „трохи” більше, що було досить для формування всієї розмаїтості навколишнього Всесвіту.

Фізиком з ЦЕРНу і американської Лабораторії ім. Фермі вдалося довести існування давно відомого теоретикам порушення зарядової і парної симетрії. Ще 1967 року академік Андрій Сахаров висловив думку, що саме воно і забезпечило колись „перевагу” матерії над антиматерією. Недавно науковці, що працюють на Стендфордському лінійному прискорювачі, знайшли ознаки порушення симетрії мезонів. Це означає, що фізики мають достовірні докази порушення симетрії деяких елементарних частинок.

Десять років ТЮФу. Здобутки та проблеми

У лютому 2002 року відбувся X Всеукраїнський турнір юних фізиків. Турніру вже десять років. Закінчився період його становлення і можна зробити деякі висновки.

Турніри в Україні, на відміну від інших інноваційних форм роботи з обдарованими школярами, стали самостійним науково-інтелектуальним змаганням школярів і стали складовою частиною державної програми „Обдаровані діти”. Популярність турніру зростає.

Турнір юних фізиків проводиться в три етапи.

Перший етап. Формулюються завдання, створюються умови для подальших дискусій, формується команди. Проводяться шкільні, міські та регіональні турніри, на яких відбирають команди для участі у другому етапі.

Другий етап. Очний відбірковий конкурс. У цих дискусіях безпосередньо беруть участь учені, вчителі, студенти. За результатами три-чотири команди виходять у фінал.

Третій етап. Фінал турніру. В програмі фіналу підсумкова гра, експериментальний тур, конкурс капітанів тощо. Фінал проводять як самостійну дію, де підбивають підсумки і формують команду для участі в міжнародному турнірі.

Для вирішення турнірних завдань школярі мусять вміти самостійно працювати з науковою, науково-популярною, навчальною літературою. Це привчає їх самостійно здобувати нові знання і відповідно розширювати свій світогляд. Оскільки в турнірі беруть участь команди, то школярі вчать працювати в колективі, освоювати культуру спілкування, вміння слухати інших і врешті приймати колективне рішення. Ці навички пригодяться їм у майбутньому, особливо науковцям.

Команда школярів України неодноразово займала призові місця на міжнародних турнірах юних фізиків. За результатами виступів вона здобула авторитет стабільної команди, що завжди демонструє ерудицію та знання не лише в галузі фізики. Міжнародний комітет відзначив також високий науковий рівень турнірів в Україні. Запропоновані на них задачі становлять більшу частину

задач на міжнародних турнірах. Учені України входять до складу організаційного комітету і журі міжнародних турнірів. Не випадково Міжнародний турнір юних фізиків 2002 року проходить в Україні.

Турнірна форма роботи з обдарованими школярами приваблює не лише в природничих дисциплінах, а й гуманітарних. Нині, крім фізичних, проводяться турніри з математики, хемії, біології, історії, права, раціоналізаторів та винахідників. Турнір юних фізиків є для них лабораторією, в якій продовжується пошук нових методів, організаційних форм, правил і наукового змісту турнірів.

Розширюються вікові межі турнірів. Цього року започатковано турніри фізиків-студентів. У м. Луганську щорічно проводяться юніорські турніри.

Незважаючи на очевидні успіхи і досягнення нової методичної форми роботи з обдарованими школярами і студентами, є чимало труднощів:

- належна підготовка команди вимагає великих затрат часу та інтелектуальних зусиль;
- керівники команд мусять володіти методикою підготовки до турніру і мати широкий науковий світогляд;
- даються взнаки хиби шкільної програми. Через недостатню кількість навчальних годин школярі під час уроків ґрунтовно не засвоюють методики фізичного експерименту, не знають, як працює той чи інший вимірювальний прилад, для чого потрібна точність вимірювань, і як вона досягається;
- для проведення експерименту на турнірах школярам потрібно все більше і більше експериментального обладнання. Обладнання шкільних кабінетів не завжди дає змогу провести експеримент з вибраної моделі задачі. Ось і залежить якість учнівських розв'язків від бар'єрів, які створили дорослі;
- підміна наукової дискусії беззмістовним жонґлюванням науковими поняттями і термінами, тобто спокуса перемогти свого опонента не силою

наукових аргументів, а виступами в стилі КВК. Запорукою збереження наукового рівня турнірів, об'єктивного оцінювання команд, враховуючи психологію та вік учасників, є кваліфікація журі, його толерантність, інтелігентність. І тому дуже важливим для організаторів турніру є підбір членів журі, до якого слід підходити зважено і відповідально. Зазначу, що впродовж десяти років у журі працюють хороші педагоги, високоєрудовані фахівці, ентузіасти, з усіх регіонів України, зокрема В. Колебошин, П. Віктор, В. Манакін (Одеса), І. Гельфгат, І. Ненашев (Харків), Б. Кремінський, І. Анісімов, І. Рубцова (Київ), О. Гальчинський (Львів), О. Шевчук (Ніжин), П. Пшенічка (Чернівці), І. Казачок (Севастополь), О. Камін (Луганськ) та інші. Вони відриваються від своїх справ і щороку беруть участь у турнірах, щоб поспілкуватись між собою та школярами, донести їм свої ідеї, обговорити розв'язки придуманих задач.

Недостатня увага приділяється учасникам турніру. Вищі навчальні заклади, які радо приймають на навчання учасників турніру, знаючи про їхню підготовку, зазвичай далі систематичної роботи з обдарованими студентами не проводять, їх не виділяють із загалу, а часто й зовсім забувають. Колишні учасники турнірів юних фізиків часто не можуть реалізувати себе в університетах і після закінчення не займаються науковою діяльністю. Однак їх із задоволенням запрошують на навчання університети не лише з ближнього, а й з далекого зарубіжжя, де вони вже з перших курсів приступають до самостійної наукової роботи, маючи належну увагу до себе, матеріальну підтримку. Це породжує проблему відтоку здібної молоді з України.

Незважаючи на те, що турнір проводиться впродовж десяти років і зарекомендував себе як одна із найцікавіших форм інтелектуальних змагань, він не став масовим. Причини цього очевидні:

- недостатня інформованість широкого загалу;
- недофінансування;
- недостатня популяризація в пресі, радіо та телебаченні;
- відсутність меценатства в суспільстві.

Важливим, можливо і неформальним етапом турніру, є підготовка до публікації найкращого творчого доробку. Адже під час підготовки першої публікації школярі вчаться логічно й аргументо-

вано викладати свої думки письмово, ще глибше опановують фізичну суть проблеми, і зрештою вчаться виносити свої міркування на ще ширшу читацьку аудиторію. Ці праці допомагають іншим побачити рівень і глибину опрацювання фізичних ідей на турнірах юних фізиків, є доброю школою для майбутніх учасників цих турнірів.

Журнал „Світ фізики” – один з небагатьох, хто постійно аналізує позитивні та негативні складники турніру, публікує умови завдань та творчі доробки школярів, інформує своїх читачів про турнір. Під час X турніру юних фізиків було проведено круглий стіл з ініціативи журналу „Світ фізики” та організаторів турніру, де обговорювались значення засобів масової інформації в роботі з обдарованою молоддю, видання науково-популярної літератури, популяризація турнірів для залучення ширшого кола учасників. Журнал „Світ фізики” планує започаткувати заочний турнір юних фізиків, щоб охопити ще ширше коло школярів з найвіддаленіших куточків України.

Ювілейний X турнір юних фізиків проходив у м. Херсоні на базі Херсонського обласного ліцею, і як організатори не старались провести його на високому рівні, це було дуже складно. Недостатньо добре транспортне сполучення з Херсоном приводило до того, що школярі разом з керівниками команд змушені були витратити на дорогу багато днів, а це додаткові кошти, яких школярі не мали. Недостатня кількість культурних, наукових закладів ускладнювала організацію для учасників турніру насиченої культурної програми, де б школярі могли зустрітись з відомими вченими, ознайомитися з науковими та культурними цінностями України. Напевно доцільніше проводити такі заходи у великих наукових і культурних центрах України.

Однак зазначу, що дирекція Херсонського обласного ліцею (особливо хочеться відзначити заступника директора, члена журі Надію Кнорр), всі педагоги доклали максимум зусиль, щоб створити обдарованим школярам України інтелектуальне свято. Варто додати, що до цього долучилися і колективи Херсонського педагогічного та Сільськогосподарського університетів, фізико-технічного ліцею. Дякуємо їм.

І нарешті – меценатство. Складалось враження, що нікого з благодійних фондів, які декларують підтримку обдарованої молоді, великих фірм,

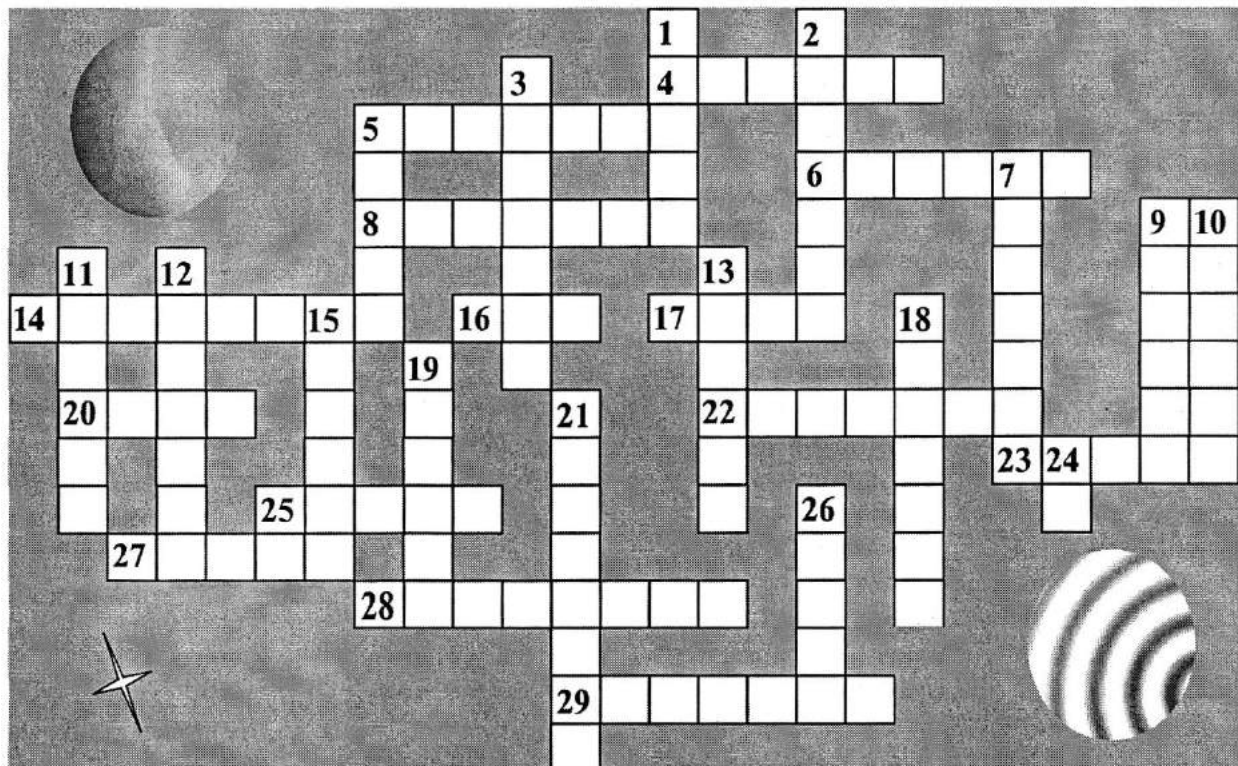
організацій і, з рештою, окремих багатих людей в Україні не цікавить ані обдарована молодь, ані їхні майбутні долі, ані майбутні фахові спеціалісти для їхніх же підприємств. Ще торік у Києві організаторам великими зусиллями вдалось долучити до цього турніру меценатів, а в Херсоні – не вдалось. Запрошуємо всіх благородних та щедрих відвідувати ці турніри, подивитись, в яких умовах проживають, чим харчуються обдаровані діти, побачити та послухати нові ідеї майбутньої еліти України! Сумно було дивитись на скромні подарунки, які отримали переможці. А їхня праця вартує сотні таких, що отримують переможці на розважальних конкурсах, які організують телебачення, чи різні бізнесові структури.

Цього року вперше Україна прийматиме Міжнародний турнір юних фізиків, який відбудуватиметься наприкінці травня в м. Одесі. До нас приїдуть учасники турніру (члени Міжнародного журі, керівники команд та школярі) із багатьох країн світу. Тому державні органи, громадськість мусять докласти максимум зусиль, щоб в учасників турніру залишились добрі враження про Україну.

Звертаємось до меценатів, благодійних фондів, підприємців – допоможіть організаторам належно провести цей турнір в Україні. Ви зробите добру справу, Ваші кошти повернуться Вам сторицею.

Галина Шопа

„Супутники планет”



По горизонталі: 4, 5, 22 – супутники Урана. 6, 8, 29 – супутники Нептуна. 14, 16, 17, 20, 23 – супутники Сатурна. 25 – супутник Марса. 27 – супутник Плутона. 28 – супутник Юпітера.

По вертикалі: 1, 2, 3, 9, 12 – супутники Нептуна. 5, 7, 10, 26 – супутники Сатурна. 11 – супутник Землі. 13 – супутник Марса. 15, 21 – супутник Урана. 18, 19, 24 – супутники Юпітера.



Горст Стермер разом з Даніелем Чу, використовуючи низькі температури та надзвичайно потужні магнетні поля, 1982 року здійснили відкриття, а впродовж року Роберт Лауглін зумів пояснити їхні результати. Завдяки теоретичному аналізу, він показав, що електрони в потужному магнетному полі можуть конденсуватись для формування своєрідної квантової рідини, подібної до тих, які виникають у надпровідниках, чи рідкому гелії.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

1998

Нові таємниці електрона



Роберт Лауглін



Горст Стермер



Даніель Чу

Шведська Королівська Академія Наук присудила Нобелівську премію з фізики 1998 року Робертові Лаугліну (Robert B. Laughlin), Горсту Стермеру (Horst L. Stormer), Даніелю Чу (Daniel C. Tsui). Ці вчені отримали Нобелівську премію за виявлення того, що електрони в сильних магнетних полях можуть формувати нові типи колективних збуджень – своєрідну квантову рідину.

Роберт Лауглін народився 1950 року в США, закінчив Масачусетський технологічний інститут. 1979 року захистив дисертацію, з 1989 року працює професором фізики Стенфордському університеті.

Горст Стермер народився 1949 року в Франкфурті-на-Майні (ФРН). Дисертацію захистив у Штутгартському університеті 1977 року, нині працює у США. У 1992–1997 роках він був директором науково-дослідної лабораторії Белл, з 1998 року професор Колумбійського університету.

Даніель Чу народився 1933 року в м. Хенань (Китай). Є громадянином США. Захистив дисертацію в Чиказькому університеті 1967 року.

1879 року 24-річний студент університету Дж. Гопкінса (США) Едвін Герберт Холл виявив несподіване явище (згодом назване його іменем). Він зауважив, що якщо тонку золоту пластинку помістити в магнетне поле, перпендикулярне до

її площини, і пропустити через неї електричний струм, то у напрямку, перпендикулярному до B та I , з'являється різниця потенціалів U_H . Крім того, з'ясувалось, що електричний опір пластинки в магнетному полі (т. зв. холлівський опір R_H) залежить від величини поля: $R_H = U_H / I$.

Ефект Холла спостерігається тому, що на носії заряду (електрони, або дірки), які рухаються в магнетному полі діє сила Лоренца, яка надає їм доцентрового прискорення, і вони відхиляються від свого попереднього напрямку (рис. 1). Ефект Холла використовують для дослідження напівпровідників, а саме визначення типу переважаючих носіїв (електрони чи дірки) та їх концентрації.

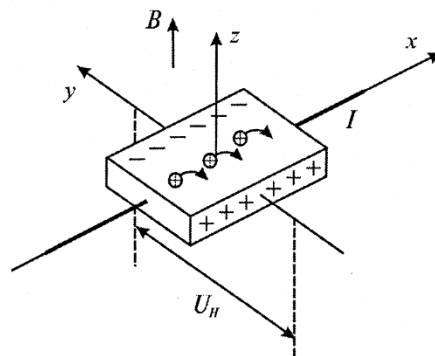


Рис. 1. Ефект Холла



Холл експериментував при кімнатній температурі і при малій індукції зовнішнього магнетного поля. Подібними дослідженнями займався німецький фізик Клаус фон Клітцинг, але в сильніших магнетних полях. 1979 року він у пошуках потрібних магнетних полів, перейшов з Вюрцбурзького університету в лабораторію сильних магнетних полів у Гренобль (Франція). Там, співпрацюючи з Майклом Тепером із Кавендишської лабораторії Кембриджського університету та з Герхардом Дордою із науково-дослідної лабораторії Сіменс у Мюнхені, провів дослідження ефекту Холла в плівках кремнію за дуже низьких температур ($T \sim 1$ К). У плівках, які Клаус фон Клітцинг вибрав для експериментів, електрони могли переміщатись тільки в дуже тонкому шарі, тобто електрони могли рухатись по двох координатах (вимірах), а не по трьох, як у масивному зразку.

У цьому експерименті, зазвичай, плавна залежність холлівської напруги від індукції магнетного поля і концентрації електронів була не монотонною. Під час плавного збільшення індукції магнетного поля холлівська напруга спочатку зростала, потім деякий час залишалась сталою, далі знову зростала до наступної горизонтальної сходинки (рис. 2). Отримавши величини холлівського опору, що відповідає кожній такій сходинці, Клаус фон Клітцинг зауважив, що всі вони є часткою, що виражається простими дробами, однієї й тієї ж величини: опору $25,183$ кОм. Цей опір можна представити як відношення двох фундаментальних констант природи – сталої Планка і квадрату елементарного електричного заряду.

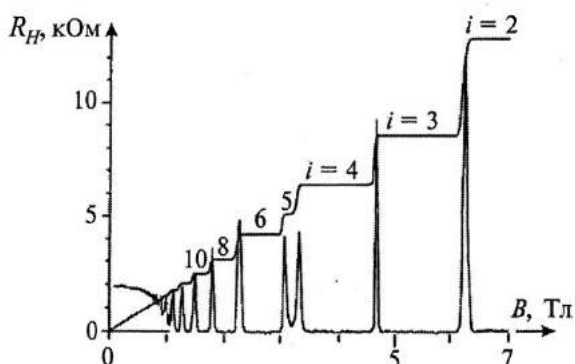


Рис. 2. Опір Холла змінюється східчасто зі зміною магнетного поля B . Висота сходинок визначається фізичною константою h/e^2 , розділеною на ціле i

Новий фізичний ефект став повною несподіванкою для фізиків, які впродовж десятиріч досліджували напівпровідники, і здавалось, що вже достеменно їх вивчили. Це явище засвідчило, що квантові ефекти, які найчастіше виявляються в поведінці мікрочастинок (у мікросвіті), можуть проявлятись і під час вимірювання електричного струму (макроскопічного параметру). Це явище отримало назву квантового ефекту Холла. Важливою особливістю цього явища була висока точність, з якою виконується співвідношення h/e^2 . Під час повторних експериментів на зразках різної форми та з різних напівпровідникових матеріалів, величину цього відношення завжди вдавалось виміряти з відносною похибкою 10^{-7} . За відкриття квантового ефекту Холла Клаус фон Клітцинг отримав Нобелівську премію з фізики 1985 року. Квантовий ефект Холла став основою для створення нового міжнародного стандарту для електричного опору. Починаючи з 1990 року, стандартний опір 1 Клітцинг визначається як холлівський опір на четвертій сходинці ($h/4e^2$).

Детально вивчаючи квантовий ефект Холла, в області ще сильніших магнетних полів (до $B = 30$ Тл) та нижчих температур на високодосконалих тонких плівках арсеніду галію Д. Чу, Г. Стермер знайшли, на їх велике здивування, нові особливості в поведінці холлівського опору, які були втричі більші від найбільшої сходинки в дослідах К. Клітцинга. Згодом вони знайшли нові сходинки і вище і поміж вже відомих (рис. 3). Ці нові значення опору Холла теж можна було виразити через ці самі сталі (h, e), але розділені на частини (фракції), тому його назвали дробовим ефектом Холла. Знову експеримент випередив теорію, і знову вчені не мали розуміння нового явища.

Через рік після відкриття цього ефекту Р. Лауглін запропонував його теоретичне обґрунтування. На його думку, сильне магнетне поле і низька температура заставляють електронний газ ущільнюватись, конденсуватись у специфічну квантову рідину. Однак електрони – ферміони (частинки, які мають спин $1/2$), а такі частинки не конденсуються, конденсуються частинки з цілим спіном (бозони). Тому спочатку електрони електронного газу комбінуються з квантами потоку магнетного поля. Перша сходинка, яку відкрив Г. Стермер і Д. Чу, відповідає випадкові, коли електрон захопив три



кванти магнетного потоку, утворюючи квазічастинку, яка є бозоном і вже може конденсуватись.

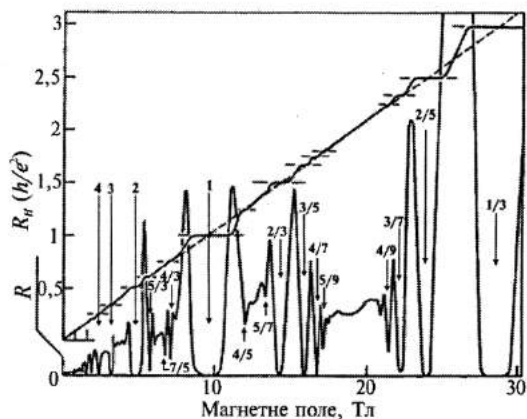


Рис. 3. Штрихова діагональна лінія показує класичну залежність опору Холла, а суцільна східчаста – експериментальні результати. Значення магнетних полів, що спричиняють стрибки опору Холла, відмічено стрілками

Квантові рідини були відомі раніше при дуже низьких температурах у рідкому гелії (Нобелівські премії одержали: Л. Ландау (1962), П. Капиця (1978), Д. Лі, Д. Ошероф, Р. Річардсон (1996)) і в надпровідниках. Квантові рідини мають деякі спільні риси, наприклад, надплинність. Деякі, подібно до квантової рідини Лаугліна складаються із складних частинок, однак у їхній поведінці спостерігаються й деякі відмінності. Крім надплинності, яка пояснює зникнення омичного опору, нова квантова рідина, запропонована Лаугліном, має нові незвичайні властивості. Ці квазічастинки характеризуються дробовими електричними зарядами, що кратні $e/3$. Вони не є частинками в прямому значенні, а є результатом колективного руху електронів у квантовій рідині. У зв'язку з цим ефект, відкритий Д. Чу і Г. Стермером, було названо дробовим квантовим ефектом Холла.

Р. Лауглін пояснив всі особливості дробового ефекту Холла, які відкрили Д. Чу і Г. Стермер експериментально, і всі троє дослідників стали лавреатами Нобелівської премії.

Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук

Кріогенні рідини

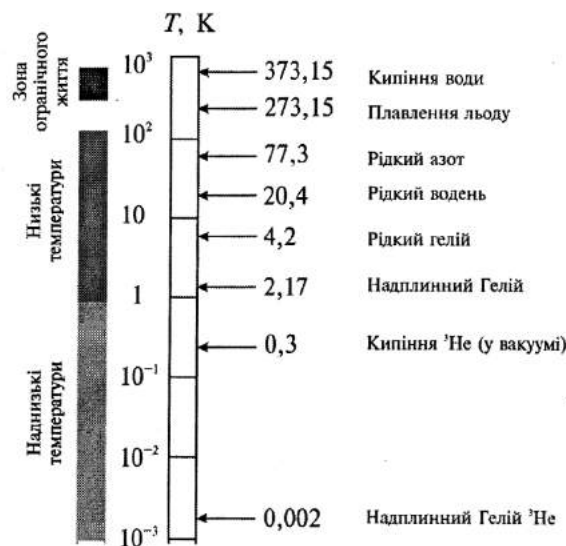
Однією з характерних рис сучасного науково-технічного поступу є широке використання кріогенних технологій. Слово „кріогенний” у перекладі з грецької означає „такий, що виробляє холод”.

У наукових дослідженнях та багатьох практичних застосуваннях охолодження до кріогенних температур найпростіше проводити за допомогою рідин, температура кипіння яких нижча за 120 К. Це зріджені гази – азот, аргон, водень, гелій, неон, кисень, метан, оксид вуглецю. Із перелічених речовин найзручніші як охолоджуючі середовища – азот, водень та гелій.

За методами отримання всю ділянку кріогенних температур поділяють на дві частини: від 120 до 0,3 К, та нижче за 0,3 К. Температури нижчі за 0,3 К називають наднизькими чи ультранизькими.

Низькі температури найзручніше отримувати за допомогою випаровування кріогенних рідин, причому відповідно до використовуваної рідини розрізняють ділянку азотно-кисневих температур (~90–65 К), воднево-неонових (~30–15 К), гелієвих (~5–0,3 К).

Для отримання наднизьких температур – нижчих за 0,3 К, коли спосіб випаровування рідини вже не є придатним, застосовують інші фізичні методи, а саме розчинення гелію-3 у гелії-4 чи адіабатичне розмагнетчування. Однак і в ділянці наднизьких температур



Характерні температури деяких фізичних об'єктів та процесів (температурна шкала в логарифмічному масштабі)

попереднє охолодження здійснюють за допомогою кріогенних рідин.

Учені вже впродовж більше ніж сто років намагаються досягти все нижчих і нижчих температур. Сьогодні вони отримують температури майже 10^{-7} К.

Теоретичні завдання III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2002 р.

8-й клас

Задача 1.

У калориметр, у якому міститься 2,5 літра води при температурі $5\text{ }^\circ\text{C}$, помістили 800 г льоду. Коли температура води перестала змінюватись, з'ясувалось, що льоду стало на 84 г більше, ніж на початку досліду. Визначіть початкову температуру льоду. Обміном теплоти з навколишнім середовищем знехтуйте. Питома теплоємність льоду – $2,1\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, води – $4,2\text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, питома теплота плавлення льоду – $330\text{ кДж}/\text{кг}$.

Задача 2.

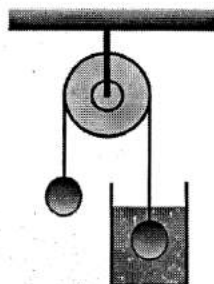
Сталевий куб плаває на межі розділення ртуті з водою. Визначіть, яка частина об'єму куба занурена у ртуть. $\rho_{\text{ст}} = 7800\text{ кг}/\text{м}^3$, $\rho_{\text{рт}} = 13600\text{ кг}/\text{м}^3$, $\rho_{\text{води}} = 1000\text{ кг}/\text{м}^3$.

Задача 3.

У сполучені посудини налили ртуті, а поверх неї в одну посудину налили стовпчик олії, заввишки h_1 , а в іншу – стовпчик гасу, заввишки h_2 . Визначіть різницю рівнів ртуті в обох посудинах. Густини олії, гасу та ртуті вважайте відомими.

Задача 4.

Дві однакові кульки зв'язані невагомою ниткою, перекинutoю через невагомий блок, причому одна з них занурена в посудину з рідиною (див. рис.). З якою швидкістю рухатимуться кульки, якщо відомо, що швидкість падіння однієї кульки в тій же рідині дорівнює v . Силу опору вважайте пропорційною швидкості. Густина рідини дорівнює ρ_1 , густина матеріалу дорівнює ρ_2 .



Задача 5.

Три вантажні автомобілі возять пісок з пункту A до пункту B . Із пункту A вони відправляються з інтервалом годину. Швидкість навантаженого автомобіля $v_1 = 30\text{ км}/\text{год}$. Розвантажившись в пункті B , вони відразу ж відправляються назад зі швидкістю $v_2 = 50\text{ км}/\text{год}$. На зворотному шляху перший автомобіль зустрічає машини, які виїхали після нього. Через скільки часу після зустрічі з третьою машиною перша машина повернеться до пункту A ? Відстань між A та B дорівнює 100 км , а час розвантаження вважайте миттєвим.

9-й клас

Задача 1.

У річку, швидкість течії якої дорівнює u , з точки O на березі кидають камінь перпендикулярно до берега. Швидкість поширення поверхневих хвиль у воді дорівнює v . За який час після падіння каменя у воду хвиля прийде в точку O , якщо камінь впав на відстані L від берега?

Задача 2.

Провідниковий резистор намотаний виток до витка на циліндричний каркас і має $n = 10$ витків. Опір резистора $R = 50\text{ Ом}$. Після того, як в одному місці порушилась ізоляція провідника, опір резистора зменшився до $R_1 = 47,5\text{ Ом}$. Чому дорівнює опір у тому місці, де порушилась ізоляція?

Задача 3.

Під час профілактичного ремонту дно човна-пласкодонки обклеїли шаром пластику, завтовшки $d = 3\text{ см}$. Після цього висота надводної частини човна зменшилася на величину $h = 1,8\text{ см}$. Визначіть густину пластику.

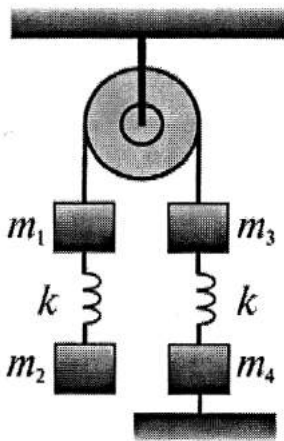
Задача 4.

Для підтримання постійної температури води в акваріумі з проточною водою користуються двома однаковими нагрівачами. Звичайно викорис-

товують один із них. Однак, якщо до першого підключають паралельно другий нагрівник, то розхід холодної води доводиться збільшувати втричі. Як треба змінити розхід холодної води, якщо нагрівники включити в мережу послідовно? Температура холодної води $t_1 = 17^\circ\text{C}$, температура води в акваріумі $t_2 = 27^\circ\text{C}$. Вода в акваріумі переміщується швидко.

Задача 5.

Для системи (див. рис.), яка перебувала в рівновазі, визначіть прискорення всіх тягарів одразу ж після того, як перерізали нижню нитку, яка утримувала їх. Вважайте нитки невагомими і нерозтяжними, пружини – невагомими, масу блоку – мізерно малою, тертям у підвісі знехтуйте.



10-й клас

Задача 1.

Тенісний м'яч падає на важку ракетку під кутом $\varphi = 60^\circ$ до нормалі і пружно відбивається. Маса м'яча дуже мала порівняно з масою ракетки. З якою швидкістю повинна рухатись ракетка, щоби м'яч відскочив під прямим кутом до початкової траєкторії?

Задача 2.

У теплоізоляованій циліндричній посудині під поршнем міститься один моль газу при тисковій вдвічі меншій від атмосферної і температурі T . Поршень може вільно рухатись у бік збільшен-

ня об'єму і втримуватися стопором від протилежного руху. Внутрішня енергія газу $U = CT$. Газова стала R . Яку кількість теплоти потрібно надати газіві, щоби об'єм збільшити вдвічі?

Задача 3.

Вольтметр приєднано до клем джерела струму послідовно із змінним опором (резистором). Якщо опір резистора зменшити втричі, то покази вольтметра зростуть вдвічі. У скільки разів зміняться покази вольтметра, якщо опір резистора зменшити до нуля?

Задача 4.

Штучний супутник Землі масою $m = 200$ кг, рухаючись по коловій орбіті у верхніх шарах атмосфери, зазнає опору розрідженого повітря силою $F = 0,7$ Н. Визначіть, як зміниться швидкість супутника за один оберт навколо Землі. Висота польоту супутника над поверхнею Землі мала порівняно з радіусом Землі ($R = 6400$ км).

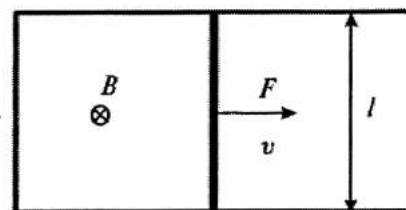
Задача 5.

У плаский конденсатор, який під'єднаний до батареї з е. р. с. E , повністю введена паралельно до обкладок конденсатора заряджена тонка пластина. Віддаль від пластини до однієї з обкладок конденсатора x . Знайдіть сумарну силу, яка діє на введену пластину, якщо її заряд дорівнює q . Площа пластини і обкладок конденсатора S , віддаль між обкладками конденсатора d .

11-й клас

Задача 1.

По П-подібному провідникові, поміщеному в однорідне магнетне поле з індукцією B , може ковзати без тертя перемичка, масою m і опором R . З якою силою треба тягнути перемичку вздовж провідника, щоби вона рухалась з постійною швидкістю v ? Опором провідника знехтуйте.

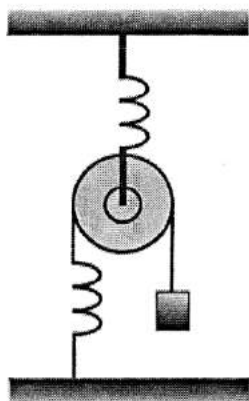


Задача 2.

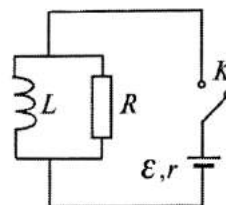
У циліндричній посудині під поршнем міститься один моль ідеального одноатомного газу. Маса поршня m , площа поршня S . Яку кількість теплоти потрібно підводити до газу за одиницю часу, щоби поршень рухався рівномірно догори зі швидкістю v ? Атмосферний тиск p_0 . Тертя між поршнем і стінками посудини знехтуйте.

Задача 3.

Легенький блок підвішено до стелі на пружині жорсткістю k . Через блок перекинута нитка. Один з кінців нитки прикріплено до підлоги за допомогою такої ж пружини (див. рис.), до другого кінця підвішено тягарець масою M . Система перебуває у рівновазі. Нитки вертикальні. Змістіть трохи тягарець M по вертикалі і відпустіть його. Визначіть період вертикальних коливань тягарця.

**Задача 4.**

Паралельно з'єднані котушка з індуктивністю L , і резистор R підключені через ключ K до джерела постійної ЕРС з внутрішнім опором r (див. рис.). У початковий момент часу ключ розімкнений і струму в колі немає. Який заряд Q пройде через резистор після замикання ключа K ? Активним опором котушки знехтуйте.

**Задача 5.**

На горизонтальній площині у вершинах рівностороннього трикутника зі стороною a розташовані три однакові невеликі кульки, які з'єднані між собою невагомими нерозтяжними нитками. Заряд і маса кожної кульки q і m . Одну з ниток миттєво перерізають. Визначіть максимальну швидкість середньої кульки. Тертя знехтуйте.

Наука – це неперервна, вічна праця думки систематизувати всі досліджувані явища нашого світу.

А. Айнштейн

Наука вимагає від ученого всього його життя. Якби він мав два життя, то і їх би не вистачило.

І. Павлов

Люди перестають думати, як тільки перестають читати.

Д. Дідро

Відповіді до кросворда „Супутники планет”

По горизонталі: 4 – Аріель. 5 – Титанія. 6 – Протей. 8 – Таласса. 14 – Гіперіон. 16 – Рея. 17 – Феба. 20 – Япет. 22 – Міранда. 23 – Діона. 25 – Фобос. 27 – Харон. 28 – Каллісто. 29 – Ларісса.

По вертикалі: 1 – Наяда. 2 – Деспіна. 3 – Галатея. 5 – Титан. 7 – Енцелад. 9 – Тритон. 10 – Фетіда. 11 – Місяць. 12 – Нерейда. 13 – Деймос. 15 – Оберон. 18 – Ганімед. 19 – Європа. 21 – Умбрійель. 24 – Іо. 26 – Мімас.

Теоретичні завдання IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики м. Євпаторія, 2002 р.

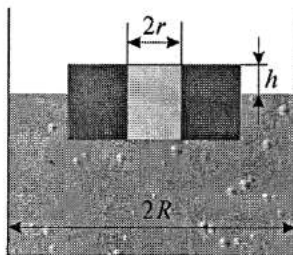
8-й клас

Задача 1.

Два туристи мають прибути на базу одночасно і якнайшвидше. Вони перебувають на відстані $S = 40$ км від бази. Туристи мають один велосипед, яким вирішили користуватися по черзі і домовилися залишати велосипед у проміжних пунктах, між якими один йде пішки, а інший – їде на велосипеді. Вирушивши одночасно в дорогу, один з них пішов пішки зі швидкістю $v_1 = 5$ км/год, інший поїхав на велосипеді з швидкістю $v_2 = 15$ км/год. З якою середньою швидкістю рухатимуться туристи? Скільки часу велосипед залишатиметься невикористаним?

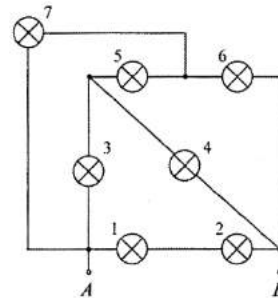
Задача 2.

У циліндричній посудині з внутрішнім радіусом R , частково заповненій водою, плаває, виступаючи з води на висоту h , дерев'яний кружок з отвором, що має радіус r (дивись рис.). В отвір налили стільки олії, що її верхній рівень досяг верха кружка. В результаті рівень води поза кружком піднявся на висоту x . Визначить x , якщо густина олії ρ_0 менша від густини води ρ_w , а густина дерева ρ_d більша від густини олії.



Задача 3.

Сім однакових електричних лампочок з'єднано так, як зображено на рисунку. Яка з лампочок не горітиме незалежно від того, яка напруга прикладена між точками A і B ?

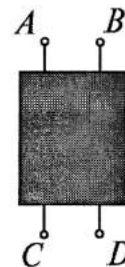


Задача 4.

З палуби теплохода, розміщеної на висоті $h = 1,5$ м над водою, падає у воду тонкий алюмінієвий стрижень завдовжки $l = 50$ см. З якою швидкістю стрижень упаде на дно, якщо глибина води $H = 3$ м? Густина морської води $\rho_0 = 1,03 \cdot 10^3$ кг/м³, алюмінію $\rho = 2,65 \cdot 10^3$ кг/м³. Опором повітря і води знехтуйте. Стрижень падає у вертикальному положенні.

Задача 5.

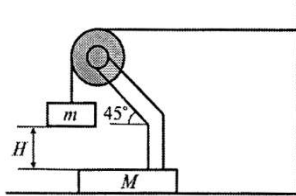
Всередині „чорної скриньки” розміщене електричне коло, яке складається лише з резисторів. Назовні виведено чотири клеми (див. рис.). Визначить опори з'єднаних між собою резисторів і накресліть спосіб їх з'єднання, якщо відомо, що: $R_{AB} = 2$ Ом, $R_{AC} = 3$ Ом, $R_{AD} = 2$ Ом, $R_{BC} = 5$ Ом, $R_{BD} = 0$, $R_{CD} = 5$ Ом.



9-й клас

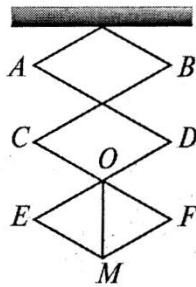
Задача 1.

Плита з прикріпленим до неї стояком з блоком лежить на горизонтальній поверхні (див. рис.). Коефіцієнт тертя між плитою і поверхнею μ . Через блок перекинута невагомий шнур з прив'язаним вантажем масою m . Інший кінець шнура прикріплено до стіни так, що шнур горизонтальний. У початковий момент вантаж перебував на висоті H над плитою. За яких умов плита і вантаж почнуть рухатися? На яку відстань зміститься плита, якщо її маса разом із стояком дорівнює M і зупиняється вона, не доїхавши до стінки? Кут похилої частини стояка з горизонтом 45° .



Задача 2.

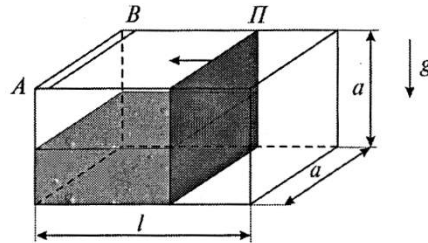
Підвіска складається з однакових стрижнів, з'єднаних шарнірно (див. рис.). Стрижні AD , BC , DE і CH суцільні. Між точками O і M натягнута нитка. Визначіть силу натягу нитки, якщо маса всієї системи m .



Задача 3.

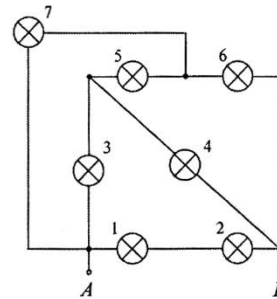
Посудина в формі паралелепіпеда, розміри якого зазначені на рисунку, містить щільно підігнаний рухомий поршень Π . У верхній кришці посудини ліворуч є невелика щілина AB . Поршень спочатку був біля правої стінки посудини. В посудину наливають воду так, що висота її рівня дорівнює h_0 . Яку мінімальну роботу треба здійснити, щоб по-

вільно переміщаючи поршень, повністю витіснити повітря з посудини? Атмосферний тиск p_0 .



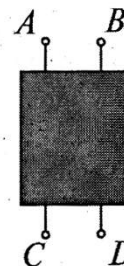
Задача 4.

Сім однакових електричних лампочок з'єднано так, як зображено на рисунку. Яка з лампочок не горітиме незалежно від того, яка напруга прикладена між точками A і B ?



Задача 5.

Всередині „чорної скриньки” розміщене електричне коло, яке складається лише з резисторів. Назовні виведено чотири клеми (див. рис.). Визначіть опори з'єднаних між собою резисторів і накресліть спосіб їх з'єднання, якщо відомо, що: $R_{AB} = 2 \text{ Ом}$, $R_{AC} = 3 \text{ Ом}$, $R_{AD} = 2 \text{ Ом}$, $R_{BC} = 5 \text{ Ом}$, $R_{BD} = 0$, $R_{CD} = 5 \text{ Ом}$.



10-й клас

Задача 1.

Визначіть молярну теплоємність ідеального одноатомного газу, якщо нагрівання здійснюється так, що середньоквадратична швидкість теплового руху його атомів зростає прямо пропорційно тискові.

Задача 2.

Яку потужність мусить мати двигун морозильника, який працює за циклом Карно, в камері якого підтримується температура $t_1 = -23^\circ\text{C}$, якщо в неї через стінки за час $t = 1$ год надходить кількість теплоти $q = 0,1$ МДж? Температура радіатора морозильника $t_2 = 57^\circ\text{C}$, а ККД двигуна $\eta = 0,8$.

Задача 3.

Стрічка транспортера завдовжки l , рухається зі швидкістю v_0 . З якою швидкістю треба штовхнути кубик масою m проти руху транспортера, щоб кількість теплоти, яка виділяється за рахунок роботи сили тертя між кубиком і стрічкою транспортера, була максимальною? Чому дорівнює ця максимальна кількість теплоти, якщо коефіцієнт тертя μ і виконується умова $v_0^2 < 2\mu gl$?

Задача 4.

На дві мідні кулі з радіусами R_1 і R_2 ($R_1 > R_2$) помістили різнойменні заряди Q і $-Q$, відповідно. Після цього обидві кулі розділили на дві рівні частини без перерозподілу зарядів. Очевидно, що половинки куль відштовхуватимуться. Для якої з куль половинки роз'їдуться швидше?

Задача 5.

В одній з пластин плоского конденсатора є маленький круглий отвір радіусом r , затягнутий мильною плівкою. Конденсатор має різницю потенціалів U і відключений від батареї. Відстань d між пластинами конденсатора мала порівняно з розмірами пластин, коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину σ . Оцініть величину прогину плівки, вважаючи його малим.

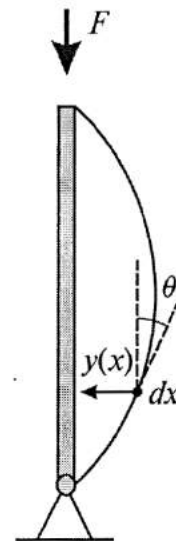
11-й клас

Задача 1.

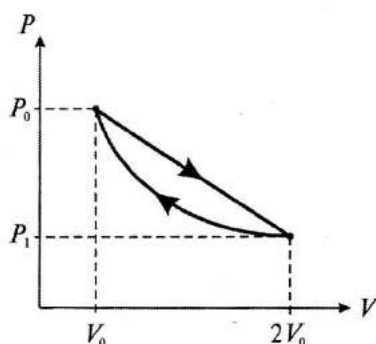
Вертикальний стрижень, який шарнірно закріплений внизу, може вигинатись (але не стискатись) під дією сили F (див. рис.), набуваючи форми, яку наближено описує функція:

$$y(x) = Q \sin(\pi x/L),$$

де x – координата точки вздовж вигнутого стрижня, L – довжина стрижня, $y(x)$ – поперечне відхилення точки x вигнутого стрижня від вертикалі. Вважаючи вигин стрижня невеликим, знайдіть амплітуду вигину Q . Зважте, що: а) енергія деформації вигину елемента стрижня завдовжки dx дорівнює $dU = (1/2)M\chi \cdot dx$, де $M = EI\chi$ – згинаючий момент, E – модуль Юнга, I – момент інерції поперечного перерізу ($[I] = \text{м}^4$), $\chi = d\theta/dx$ – швидкість зміни кута нахилу дотичної до стрижня відносно вертикалі; б) стійкому станові системи відповідає мінімум її потенційної енергії.


Задача 2.

Ідеальний одноатомний газ здійснює циклічний процес, зображений на рисунку (1 – адіабата, 2 – відрізок прямої). Знайдіть ККД циклу при $p_1 = p_0/3,17$.



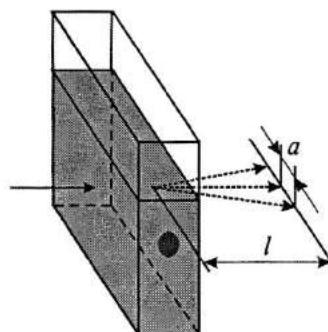
Задача 3.

Надпровідне кільце має радіус r , площу поперечного перерізу S і концентрацію електронів n . Кільце помістили в однорідне магнетне поле з індукцією B так, що вектор B виявився в площині кільця. Знайдіть силу струму в кільці після того, як його повернули на кут 90° так, що вектор B став перпендикулярним до площини кільця. Проаналізуйте вплив інерційності електронів на отриманий результат. Коли він суттєвий? Індуктивність кільця L .

Задача 4.

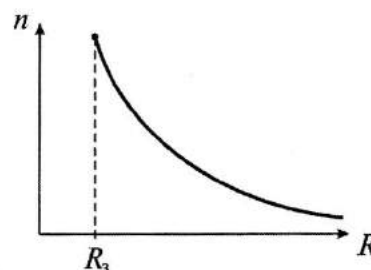
У кювету, яка має форму прямокутного паралелепіпеда, налита рідина (див. рис.). До однієї з бокових стінок кювети прикріплене п'єзоелектричне джерело ультразвуку з частотою $\nu = 4,5$ МГц. Через кювету пропускають вузький пучок світла з довжиною хвилі $\lambda = 0,66$ мкм. На екрані, розта-

шованому за кюветою на відстані $l = 9$ м, виникають три світлові плями, відстань між якими $a = 1,8$ см. Знайдіть швидкість звуку в рідині.

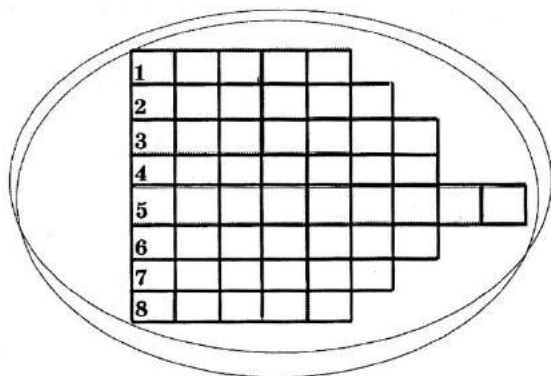


Задача 5.

Космонавти під час виведення космічного корабля на орбіту перетнули на деякій висоті H_0 тонкий світлий шар (повне відбивання світла в атмосфері). Як за графіком (див. рис.) залежності показника заломлення атмосфери n від відстані R до центра Землі визначити H_0 ?



Чи знаєте Ви фізиків українського походження?



1. Кого австрійський професор В.Форман назвав „однією з найцікавіших постатей науки кінця XIX – початку XX сторіч”?
2. Чиї ідеї були використані для здійснення польоту людини на Місяць?
3. Український учений, причетний до винаходу атомної бомби.
4. Хто з учених українського походження є автором просвітлення оптики?
5. Кого з видатних українських учених без атестата про середню освіту та диплома про вищу в п'ятнадцять років зарахували до аспірантури?
6. Хто з учених українського походження є автором гіпотези про існування частинок, які мають швидкість більшу від швидкості світла у вакуумі?
7. Хто з Нобелівських лавреатів з фізики народився на українській землі?
8. Кому за заслуги в популяризації науки присуджено премію ЮНЕСКО 1956 року?



ДЗИГА П'ЯТАЧОК

Пропонуємо розв'язок задачі „Дзига п'ятачок”, що була на X Всеукраїнському турнірі юних фізиків:

П'ятачок поставили на ребро та щигликом запустили обертання. Дослідіть залежність траєкторії точки торкання п'ятака з площиною залежно від початкових даних.

Очевидно, є деяка аналогія між рухом п'ятачка і дзиги. Тому спочатку розглянемо рух дзиги, тобто деякого важкого симетричного тіла. Під час закручування дзиги, їй надається деяка початкова кутова швидкість обертання навколо осі

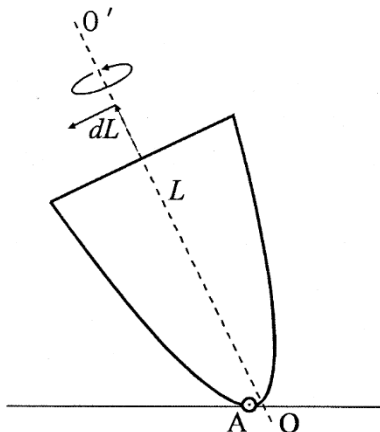


Рис. 1

$OO' \omega_0$ та швидкість центра мас v_c . Розглянемо відхилення осі дзиги від вертикалі. Нехай А – точка дотику дзиги і поверхні (рис. 1). Відстань від точки А до осі OO' дорівнює r . Тоді швидкість точки А відносно центра мас дорівнює ωr , а швидкість точки А на дзигі відносно поверхні дорівнює $v - \omega r$. Якщо $v > \omega r$, то точка А проковзує по поверхні, а сила тертя прикладена до точки А (рис. 1) і напрямлена перпендикулярно до площини рисунку. Тому виникає момент сил, що нахилає вісь і опускає центр мас. Втім при нахиленні осі збільшується відстань від точки торкання до OO' і настає момент, коли $v < \omega r$ (рис. 2). Сила тертя змінює свій напрямок на протилежний, і момент сил, навпаки, піднімає центр мас дзиги. Отже, очевидно, стійка рівновага дзиги міститься у точці, для якої $v = \omega r$. За цієї

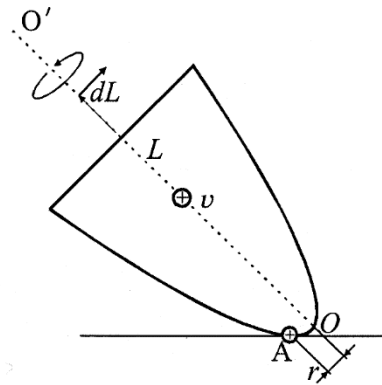


Рис. 2

умови швидкість точки А дзиги відносно поверхні дорівнює нулеві. Тобто дзига не ковзає, а котиться по поверхні. Проекція OO' на горизонталь перпендикулярна до вектора швидкості центра мас.

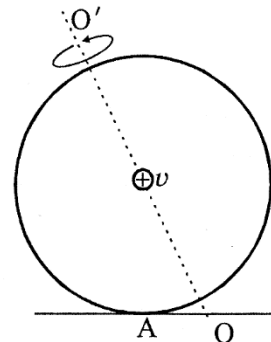


Рис. 3

Розглянемо рух монети. Вважатимемо монету тонкою пластинкою з масою m і радіусом r_m і знехтуємо силами тертя кочення. Розглянемо два положення, які займає монета: у першому – вектор швидкості v направлений перпендикулярно до площини монети (рис. 3); у другому – вектор

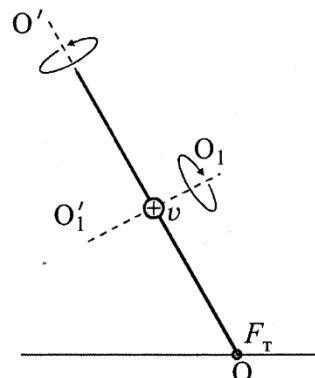


Рис. 4



швидкості лежить у площині монети (рис. 4). Вважатимемо, що, як і у дзизі, точка А на монеті нерухома відносно поверхні, а кут α (кут нахилу осі OO' до вертикалі) малий. Нехай r_0 відстань від точки А до осі OO' у першому положенні. Тоді

$$\omega r_0 = v. \quad (1)$$

Відповідно до того, як монета обертається, виникає сила тертя спокою F_T , яка закручує монету навколо осі OO' . Відстань від точки А до осі OO' змінюється під час повороту від r_0 до нуля. Нехай у деякий момент кут між площиною монети і вектором швидкості v дорівнює φ . З геометричних міркувань, можемо знайти залежність $r(\varphi)$, тобто залежність відстані від точки А до OO' від кута φ :

$$r(\varphi) = r_0 \sin \varphi. \quad (2)$$

Нехай, за деякого φ кутова швидкість обертання навколо осі O_1O_1' дорівнює ω_1 .

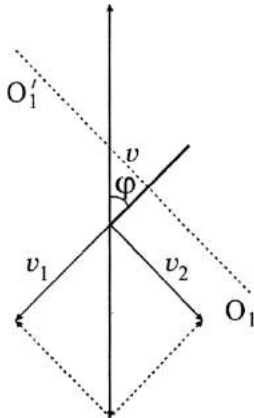


Рис. 5

Розгляньмо рух монети зверху. Вектори, зображені на рис. 5, складники швидкості точки дотику з поверхнею. Монета не ковзає, якщо сума векторів швидкості точки дотику дорівнює нулеві. Центр мас рухається зі швидкістю v відносно поверхні і обертається навколо двох осей. Тому є два складники швидкості точки дотику відносно центра мас: v_1 і v_2 . З умови, що монета не проковзує, випливає:

$$v \cos \varphi = v_1, \quad (3)$$

$$v \sin \varphi = v_2, \quad (4)$$

$$v_1 = \omega_1 r_M, \quad (5)$$

$$v_2 = \omega r(\varphi). \quad (6)$$

З умов (4) і (6), отримуємо

$$v \sin \varphi = \omega r(\varphi) = \omega r \sin \varphi.$$

Тобто по одній осі ці умови виконуються. Для того, щоб вони виконувались по другій осі, з умов (5) і (3)

$$\omega_1 = \frac{v \cos \varphi}{r_M}.$$

Максимальною кутова швидкість ω_1 буде в другому положенні ($\omega_1 = v/r_M$). Мінімальна – у першому ($\omega_1 = 0$).

Сила тертя спокою F_T розкручує монету навколо осі O_1O_1' . Нехай у другому положенні $t = 0$. Тоді $\varphi = \omega t$, а

$$\omega_1 = \frac{v \cos(\omega t)}{r_M}.$$

Кутове прискорення відносно осі O_1O_1' :

$$\beta_1 = \omega_1' = \frac{v \omega \sin(\omega t)}{r_M}.$$

Найбільшого значення β_1 набуває якщо $t = \frac{\pi}{2\omega}$, тобто в першому положенні. При цьому

$$\beta_{\max} = \frac{v \omega}{r_M}.$$

Умова того, що монета не проковзує, така:

$$I \beta_{\max} < \mu m g r_M,$$

де I – момент інерції монети відносно осі O_1O_1' , μ – коефіцієнт тертя ковзання по поверхні. Тобто монета не проковзує, якщо $\mu > v\omega/4g$.

Отже, точка дотику нерухома відносно поверхні. Але монета котиться, і точка дотику описує деяку траєкторію. Спочатку розгляньмо траєкторію точки дотику за один півоберт. Вважаймо, що за половину періоду вектор швидкості центра мас не змінився. Відстань від точки дотику до осі OO' змінюється за формулою (2). Ми можемо записати координати x і y точки залежно від часу (у початковий момент часу монета перебувала в другому положенні):

$$y = \frac{v \cos^2(\omega t)}{\omega},$$



$$x = vt + \frac{v \cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t)}{\omega}$$

Її траєкторія зображена на рис. 6.



Рис. 6

Тепер розгляньмо траєкторію центра мас монети. Спочатку розгляньмо рух, не враховуючи сили тертя кочення. Як зображено на рисунку, проєкція OO' на горизонталь перпендикулярна до вектора швидкості центра мас. Під дією сили mg монета починає прецесувати. Нехай кутова швидкість прецесії ω' . Тоді проєкція OO' на горизонтальну вісь обертається з кутовою швидкістю ω' . Отже, траєкторія центра мас дзиги – коло радіуса $R = v/\omega'$ (рис. 7). Доцентрове прискорен-

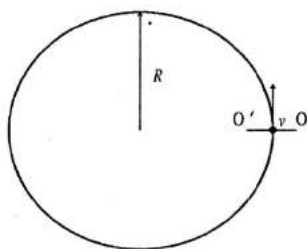


Рис. 7

ня монети:

$$a_d = v^2/R = v\omega'. \quad (8)$$

Розгляньмо, як виникає кутова швидкість ω' . Це кутова швидкість прецесії. Вона обчислюється за формулою:

$$\omega' = \frac{M}{L \sin \alpha} = \frac{mgr_M \sin \alpha - ma_d r_M \cos \alpha}{I \omega \sin \alpha}. \quad (9)$$

(Сили, що діють на монету, зображені на рис. 8). Знайдімо r_0 з умови $v = \omega r_0$, а з геометричних міркувань (див. рис. 3) знайдімо кут α . Із системи

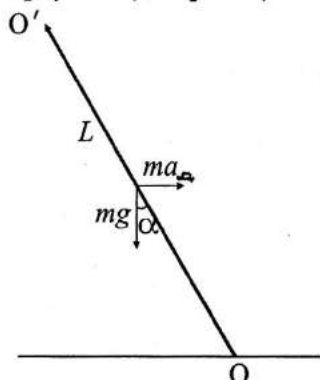


Рис. 8

рівнянь (8) і (9) отримаємо:

$$a_d = \frac{4vg}{5\omega r_M},$$

$$\omega' = \frac{4g}{5\omega r_M}, \quad (10)$$

$$R = \frac{v}{\omega'} = \frac{5\omega r_M v}{4g}$$

Однак у реальних системах є сили тертя кочення, вони зумовлюють те, що швидкість руху центра мас v і кутова швидкість ω зменшуються з часом. Сили тертя кочення не залежать від швидкості, тому можемо вважати, що v і ω змінюються так:

$$v = v_0 - at,$$

$$\omega = \omega_0 - \beta t.$$

Підставивши ці вирази в рівняння (10), одержимо:

$$R = R_0 + V_0 t - At^2/2,$$

де $R_0 = 5\omega_0 v_0 r_M / 4g$.

$$V_0 = 5r_M (a\omega_0 + \beta v_0) / 4g,$$

$$A = 5a\beta r_M / 2g.$$

Отже, центр мас монети рухається по кривій зі змінним радіусом з тангенціальною швидкістю

$$v = v_0 - at.$$

Ці формули були застосовані для моделювання траєкторії точки дотику на комп'ютері за таких початкових умов: $v_0 = 0,15$ м/с, $\omega_0 = 150$ рад/с, $\beta = 10$ рад/с², $a = 0,05$ м/с² і результат зобра-

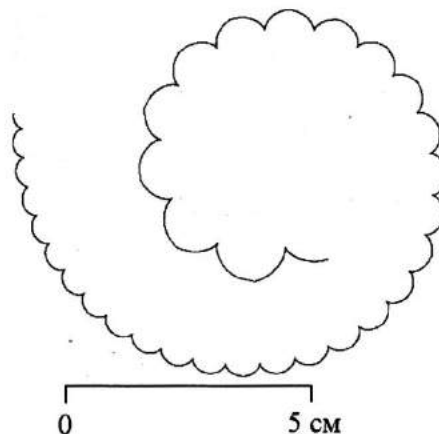


Рис. 9



жено на рис. 9. Умова (7) виконується для $\mu > 0,56$.

Для перевірки теоретичних міркувань ми провели експеримент. Для цього ребро монети змочили фарбою і запустили обертатись по поверхні паперу. Монета залишила слід, який і був траєкторією точки дотику. Експериментально отримана траєкторія точки дотику монети добре узгоджується з теоретичною. На ній видно характерні заокруглення траєкторії, зменшення радіуса кри-

визни центра мас. Але на ділянці, експериментально отриманої траєкторії монети, що відповідає останнім моментам часу перед її падінням, спостерігаються відмінності від траєкторії, визначеної теоретично. Це пояснюється тим, що теоретична траєкторія виведена з використанням наближення $\omega' \ll \omega$, а в останні моменти перед падінням ця умова не виконується.

Іван Григор'єв,

учень 11-го класу Львівського
фізико-математичного ліцею

Дивовижний кремнезем

Кисень та кремній – найпоширеніші хемічні елементи на Землі. Разом вони становлять майже 77% літосфери. Хемічне поєднання кремнію з киснем називають оксидом кремнію, кремнієвою землею, або просто кремнеземом. Він може набувати аморфної, склоподібної, полікристалічної, волокнистої, монокристалічної чи полікристалічної форм. Розміри кристалів коливаються від часток мікрметра до кількох метрів, колір може змінюватись від фіолетового до червоного.

Усі різновиди кремнезему, особливо самоцвітів, важко перелічити. Ось лише кілька з них: авантюрит, агат, аметист, кварц, опал, сердолик, кришталь, цитрин, чорний опал, яшма.

Хемічна формула всіх кремнеземів SiO_2 . Щоправда, у багатьох випадках кремній частково заміщується залізом, алюмінієм, кобальтом чи деякими іншими металами. Однак їхній вміст настільки мізерний, що не доцільно ускладнювати хемічну формулу, хоча ці домішки впливають на колір кремнезему.

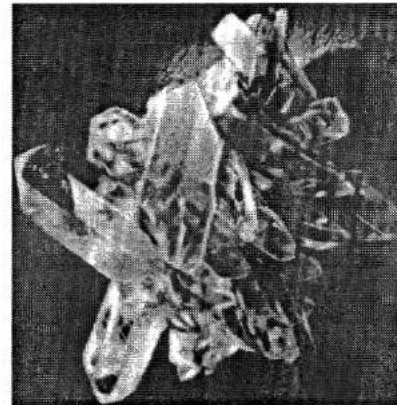
Кристали кремнезему, які називають кварцом, найчастіше виглядають як шестикутні призми із загостреними кінцями.

Відомо, що кремній – чотиривалентний, а кисень – двовалентний. Легко уявити собі маленький йон кремнію (кулька радіусом $0,26 \text{ \AA}$), оточена чотирма великими йонами кисню (радіус – $1,38 \text{ \AA}$). Така група атомів називається кремнекисневим тетраедром і містить чотири валентних заряди. Вона може приєднати до себе ще чотири таких тетраедри, а ті – інші і так далі... Унаслідок таких приєднань утвориться тримірний панцир з тетраедрів.

У природі найпоширеніший β -кварц. Його структура утворена безкінечними спіралями з незамкнених кілець. Деякі модифікації кварцу кристалізуються за високих температур і тисків так, що навколо одного атома кремнію збираються не чотири, а шість атомів

кисню. Вони утворюють октаедри, пов'язані між собою ребрами. Такий кварц за твердістю наближається до рубіну. Він називається стишовитом.

Застосування різноманітних методів дослідження



Кристали кварцу

дає змогу зрозуміти природу загадкових властивостей деяких кремнеземів. Наприклад, завдяки електронним мікроскопам, вдалося з'ясувати причину переливання світла в благородному опалі. З'ясувалося, що цей коштовний камінь складається з дрібнесеньких кульок кремнезему, діаметр яких $0,2 \text{ мкм}$. Кульки розташовані рівними рядами, а проміжки між ними заповнені повітрям чи водою. Розміри кульок співмірні з довжинами світлових хвиль, тому в кристалі виникає дифракція світла, а це зумовлює переливання світла – веселкову гру на поверхні опала. Якщо ж розміри трохи більші, або ж кульки розміщені непорядковано, то такої дифракції не буде і замість благородного опала матимемо звичайний камінець мутно білого кольору.

Віталій Лесівців

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

8-й клас

Задача 1.

Оскільки в калориметрі наприкінці досліду міститься лід і вода, то кінцева температура суміші 0°C . Отже, в нашому досліді вода охолоджувалась, а лід нагрівався.

При охолодженні води виділиться кількість теплоти:

$$Q_1 = m_b c_b (t - 0^\circ),$$

де $m_b = \rho_b V$.

При замерзанні води:

$$Q_2 = \Delta m \lambda.$$

На нагрівання льоду піде:

$$Q_3 = m_l c_l (0^\circ - t_x).$$

Із рівняння теплового балансу:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3;$$

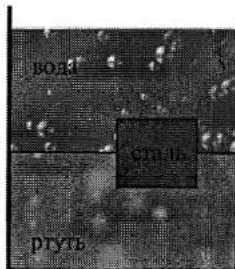
тобто

$$\rho_b V c_b t + \Delta m \lambda = -m_l c_l t_x,$$

$$t_x = -\frac{\rho_b V c_b t + \Delta m \lambda}{m_l c_l} = -47,75^\circ\text{C}.$$

Задача 2.

Нехай об'єм куба дорівнює V , а частина куба, що занурена в ртуть V_1 . Тоді у воді міститься частина куба об'ємом $(V - V_1)$.



На куб діють:

сила тяжіння: $F_T = m_k g$;

сила Архімеда з боку ртуті: $F_{A1} = \rho_{рт} g V_1$;

сила Архімеда з боку води: $F_{A2} = \rho_{в} g (V - V_1)$.

Оскільки куб перебуває у рівновазі, то

$$\rho_{ст} g V = \rho_{рт} g V_1 + \rho_b g (V - V_1).$$

Тут враховано, що $m_k = \rho_{ст} V$.

Отже,

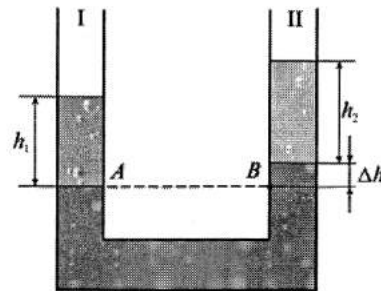
$$\frac{V_1}{V} = \frac{\rho_{ст} - \rho_b}{\rho_{рт} - \rho_b} \approx 0,54.$$

Задача 3.

Тиск в обох частинах сполучених посудин, який чинить рідина на рівні AB , буде однаковий, тобто:

I: $P_A = \rho_{ол} g h_1$ – тиск стовпа олії, заввишки h_1 ;

II: $P_B = \rho_r g h_2 + \rho_{рт} g \Delta h$ – тиск стовпа гасу, заввишки h_2 , плюс тиск стовпа ртуті Δh ;



$$P_A = P_B.$$

$$\rho_{ол} g h_1 = \rho_r g h_2 + \rho_{рт} g \Delta h;$$

$$\Delta h = \frac{\rho_{ол} h_1 - \rho_r h_2}{\rho_{рт}}.$$

Задача 4.

Позначмо через k коефіцієнт пропорційності між силою опору і швидкістю. Тоді сила опору:

$$F_{оп} = kv,$$

де v – швидкість кульки.

Сила опору спрямована проти напрямку руху.

Під час руху кульки у рідині зі сталою швидкістю:

$$m_k g = F_{оп} + F_B,$$

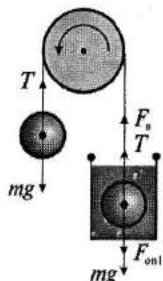
де F_B – виштовхувальна сила (сила Архімеда).

Позначмо об'єм кульки V_k . Тоді

$$V_k \rho_2 g = kv + V_k \rho_1 g. \quad (1)$$



Оскільки на праву кульку (див. рис.), яка занурена у рідину, діє виштовхувальна сила, то вона рухатиметься догори.



Рівняння рівноваги для обох кульок, матиме вигляд (рух рівномірний)

$$T - mg = 0.$$

$$T + F_B = mg + F_{on1}.$$

Звідси, врахувавши, що $F_{on1} = kv_1$, маємо

$$V_k \rho_1 g = kv_1.$$

або
$$V_k = \frac{kv_1}{\rho_1 g} \quad (2)$$

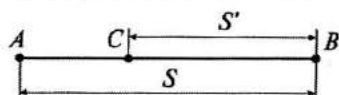
Підставмо (2) в (1):

$$\frac{kv_1 \rho_2 g}{\rho_1 g} = kv + \frac{kv_1 \rho_1 g}{\rho_1 g}.$$

$$v_1 = \frac{v \rho_1}{(\rho_2 - \rho_1)}.$$

Задача 5.

Вважаймо, що до зустрічі з третім перший автомобіль від пункту B віддаляється на відстань S' .



Тоді час його руху від A до B і потім від B до C:

$$t_1 = \frac{S}{v_1} + \frac{S'}{v_2}.$$

Час руху третього автомобіля від A до C:

$$t_3 = \frac{S - S'}{v_1}.$$

Врахувавши, що третій вирушає на 2 год пізніше, маємо

$$t_1 = t_3 + \Delta t, \text{ де } \Delta t = 2 \text{ год, тоді}$$

$$\frac{S}{v_1} + \frac{S'}{v_2} = \frac{S}{v_1} - \frac{S'}{v_1},$$

звідки

$$S' = \frac{\Delta t v_1 v_2}{v_1 + v_2}.$$

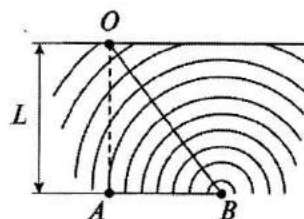
Час, який потрібний для того, щоб перший доїхав від C до A:

$$t = \frac{S - S'}{v_2} = \frac{S}{v_2} - \frac{\Delta t v_1}{v_1 + v_2} = 1,25 \text{ год.}$$

9-й клас

Задача 1.

Нехай точка на поверхні води, в яку потрапив камінь, поки хвиля досягне точки O, зміститься на відстань AB (див. рис.)



Оскільки ця точка рухається зі швидкістю течії, то відстань AB дорівнює ut . Хвиля за цей час пройде відстань OB, яка дорівнює vt .

За теоремою Піфагора, для трикутника AOB, маємо:

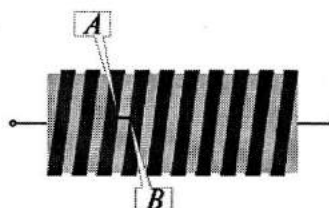
$$(ut)^2 + L^2 = (vt)^2.$$

Звідси

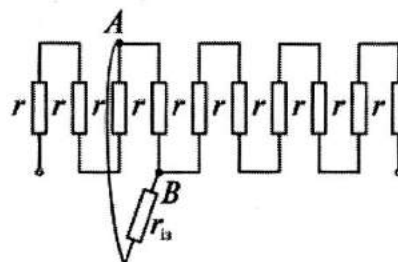
$$t = \frac{L}{\sqrt{v^2 - u^2}}.$$

Задача 2.

Розгляньмо будову резистора



Між точками A та B зображено порушення ізоляції. Тоді, якщо схематично зобразити кожний виток опором, після порушення ізоляції отримаємо таку схему:



Тут $r = R/n$, а $r_{\text{із}}$ – опір того місця, де порушена ізоляція.

$$\text{Очевидно, що } (n-1)r + \frac{r_{\text{із}}r}{r_{\text{із}} + r} = R_1,$$

де $\frac{r_{\text{із}}r}{r_{\text{із}} + r}$ – опір між точками A та B .

$$\text{Звідси } r_{\text{із}} = \frac{R_1(R/n) - (n-1)(R/n)^2}{R - R_1} = 5 \text{ Ом.}$$

Задача 3.

Нехай маса човна m , а висота підводної частини до обклеювання – H . Тоді до обклеювання дна човна умова рівноваги сил виглядала так: $mg = F_A$, де $F_A = \rho_{\text{в}}gSH$ – сила Архімеда, S – площа дна човна, $\rho_{\text{в}}$ – густина води.

$$\text{Звідси } H = \frac{F_A}{\rho_{\text{в}}gS} = \frac{mg}{\rho_{\text{в}}gS}.$$

Після обклеювання:

$$\rho_{\text{пл}}gSd + mg = F'_A,$$

де $F'_A = \rho_{\text{в}}gS(H + d + h)$, $\rho_{\text{пл}}$ – густина пластику.

Отже, $\rho_{\text{пл}}gSd = \rho_{\text{в}}gS(h + d)$,

$$\text{або } \rho_{\text{пл}} = \rho_{\text{в}}\left(1 + \frac{h}{d}\right).$$

Задача 4.

Нехай R – опір кожного нагрівника, U – напруга джерела живлення. Нехай Q – потужність, яка втрачається на нагрівання навколишнього середовища (повітря, стінок басейну і т. д.), а P – потужність, що йде на нагрівання води, коли ввімкнено один нагрівник.

Тоді в першому випадку

$$U^2/R = P + Q.$$

Якщо два нагрівники ввімкнено паралельно, то їх загальний опір дорівнює $R/2$, і баланс потужностей буде таким:

$$\frac{U^2}{R/2} = 2 \frac{U^2}{R} = 3P + Q.$$

Коли ж два нагрівники ввімкнені послідовно, то їх загальний опір – $2R$, і

$$\frac{U^2}{2R} = xP + Q.$$

Із двох перших рівнянь $P = \frac{U^2}{2R}$, $Q = \frac{U^2}{2R}$. Підставляючи P та Q у третє рівняння, отримуємо $x = 0$.

Тобто для підтримання сталої температури в басейні потрібно перекрити доступ води.

Задача 5.

Запишімо умови рівноваги для кожного тягача:

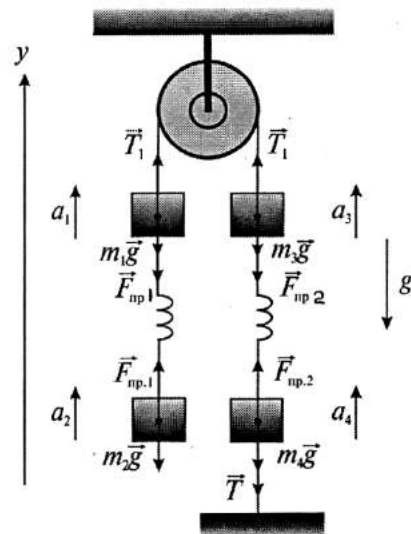
$$T_1 - m_1g - F_{\text{пр.1}} = 0 \text{ – для першого тягача.}$$

$$F_{\text{пр.1}} - m_2g = 0 \text{ – для другого тягача.}$$

$$T_1 - m_3g - F_{\text{пр.2}} = 0 \text{ – для третього тягача.}$$

$$F_{\text{пр.2}} - m_4g - T = 0 \text{ – для четвертого тягача.}$$

У момент, коли перерізають нижню нитку, зникає сила натягу T , сили пружності $F_{\text{пр.1}}$, $F_{\text{пр.2}}$,



T_1 ще не встигають змінити свої величини, оскільки вони зумовлені деформацією відповідних пружин і нитки. Відомо, що величина деформації змінюється зі швидкістю звуку, тобто відразу після перерізання нижньої нитки вантажі m_1 , m_2 , m_3 перебуватимуть у рівновазі, а їхні прискорення дорівнюватимуть нулеві:

$$a_1 = a_2 = a_3 = 0.$$

Прискорення вантажу m_4 буде:

$$a_4 = \frac{F_{\text{пр.2}} - m_4g}{m_4} = \frac{T}{m_4}.$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримаємо, що

$$T = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4)g, \text{ тобто}$$

$$a_4 = \frac{(m_1 + m_2 - m_3 - m_4)g}{m_4} = \left(\frac{m_1 + m_2 - m_3}{m_4} - 1 \right) g$$

Розв'язки підготували
Віталій Лесівців, Тарас Фітьо

Терези із вуглецевих нанотрубок

Виготовлено найчутливіші і найменші в світі терези!

Відомо, що масу тіла, прикріпленого до кінця пружини, можна знайти, якщо виміряти частоту його коливань на цій пружині, і відомий її коефіцієнт жорсткості. Так само можна знайти і дуже маленьку масу, під'єднавши її до вільного кінця вуглецевої нанотрубки. Раніше вчені продемонстрували новий метод визначення механічної міцності нанотрубки, що ґрунтується на визначенні відхилення її кінця (другий кінець закріплений) під дією електростатичних сил, зумовлених прикладеною електричною напругою. Якщо ж прикладати змінну напругу з відомою частотою, то під час співпадання її з власною частотою нанотрубки можна спостерігати резонанс. Так можна встановити частоту коливань нанотрубки. Приспіддану масу (навіть дуже маленьку) можна визначити шляхом простих розрахунків. Нанотерези дозволяють зважити об'єкт масою $(22 \pm 6) \cdot 10^{-15}$ г! Під'єднання такої маси зменшує резонансну частоту на 40 %.

Вчені вважають, нанотерези можна застосувати для зважування великих біомолекул та інших біологічних об'єктів, наприклад, вірусів.

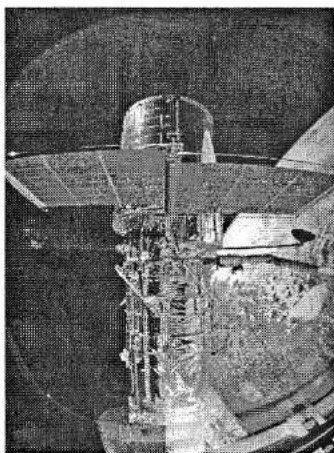
Спінтроніка. Що це таке?

Електронні пристрої, такі як радіоприймач, телевізор або комп'ютер працюють завдяки рухові або накопиченню електричних зарядів (електронів). Звідси і походить відомий багатьом термін – електроніка. Однак, крім електричного заряду, електрони мають і іншу ознаку – спін, яку нині дослідники наполегливо намагаються використати. Започатковується нова галузь техніки – спінтроніка.

Нещодавно у Вашингтоні відбулась одна з перших наукових конференцій із спінтроніки, на якій дослідники поділились першими здобутками і обговорили проблеми в цій перспективній галузі. Наприклад, кілька років тому спінтроніка дала змогу збільшити чутливість до магнетних полів головок зчитуючих пристроїв, а це призвело до збільшення ємності пам'яті магнетних дисків. Хоч збільшення пам'яті є дуже важливим саме по собі, дослідники шукають ще масштабніші застосування, які б дали розвиткові техніки такий імпульс, як свого часу транзистори дали електроніці. Вони намагаються створити квантовомеханічні комп'ютери, такі, які використовують примхливу природу квантової механіки для одночасного паралельного виконання різноманітних обчислень.

Вдосконалення орбітального телескопа

Четверта експедиція американських астронавтів до орбітального космічного телескопу Хаббла, мала на меті обладнати його досконалішою апаратурою, що розширить діапазон астрономічних досліджень. Мова



йде про обладнання його вдосконаленою Оглядовою Камерою (ВОК), яка майже в десять разів збільшує потенційні можливості телескопа. Роздільна здатність телескопа з ВОК така, говорить професор астрономії з університету Джонса Гопкінса в Балтіморі доктор Холанд Форд, що можливо вдасться отримати прямі докази існування (візуальні зображення) планет в сусідніх з нами зоряних системах. Незважаючи на те що такі планети відкрито вже біля багатьох зір, більшість цих відкриттів ґрунтується на тлумаченні гравітаційних збурень, і жодну планету за межами Сонячної системи поки що не вдалось побачити. Нова ВОК має масу 395 кг і своїми габаритами нагадує телефонну будку. В ній використано всі технологічні новинки, які з'явилися після виведення на орбіту телескопа Хаббла, і дозволяє якісніше проводити астрономічні дослідження. ВОК складається з трьох електронних приладів для ширококутних, високороздільних і сонячних спостережень, а також з багатьох фільтрів, розсіювачів, поляризаторів та інших оптичних елементів.

Нова система дослідження магнетосфери

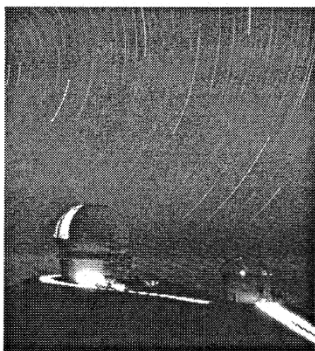
Європейське космічне агентство наприкінці 2000 року успішно вивело на навколоземні орбіти чотири супутники: „Salsa”, „Samba”, „Rumba”, і „Tango” – що утворюють єдину систему „Cluster”, призначену для вивчення магнетного поля Землі та його взаємодії з процесами на Сонці. Керує проектом Ф. Ескубе (Європейський центр космічних досліджень і техніки в Нордвейкс-ам-Зее, Нідерланди). На цих супутниках встановлено по одинадцять приладів, які реєструючи інтенсивність та направленість силових ліній магнетного поля Землі, дають змогу складати тривимірні карти магнетного поля і плазмової оболонки нашої планети. Передача наукової інформації розпочалася відразу ж після перетину супутниками магнетопаузи – зовнішньої межі магнетосфери, що є щитом, який відвертає потоки високоенергетичних частинок. За цією межею домінує магнетне поле Сонця.

Момент входження супутників системи „Cluster” у цю область випадково співпав у часі з інтенсивною бурєю на Сонці, що дозволило провести спостереження за скупченням заряджених частинок, занесених сюди потужним полем світла. Під їх дією магнетосфера Землі змінилася майже удвічі порівняно з її звичайними розмірами. Такі детальні вимірювання проведені вперше.

У січні 2001 року супутники детально дослідили так званий касп – лійкоподібний отвір у магнетосфері, через який заряджені сонячні частинки проникають у атмосферу Землі. До цього часу вважалось, що полярні каспи достатньо стабільні, однак прилади супутників зафіксували їх переміщення.

Завдяки системі „Cluster” з'ясовано, що магнетопауза, яку раніше вчені розглядали як гладку граничну поверхню, насправді вкрита зморшками і коливається наче морські хвилі під сильним вітром. Ці брижі простягаються в бік від Сонця майже на 1 тис. км. Цей перший спостережуваний доказ існування магнетопаузних хвиль отримано під керівництвом Н.Корнільо-Верлен (Центр із вивчення космічних околиць Землі та планет, Велізі, Франція).

Канада прямує до Марсу



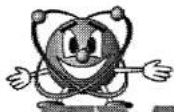
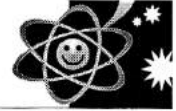
Досі в дослідженнях космічного простору Канада відігравала допоміжну роль, постачаючи іншим „космічним” державам комплектуючі, наприклад, радіолокаційне устаткування або „механічну руку” для Міжнародної орбітальної станції. Сьогодні ситуація змінюється: влітку 2001 року керівництво Канадського управління із вивчення космосу зібрало в Монреалі вчених і запропонувало розробити детальний план власних наукових досліджень у цій галузі. Особливу увагу вирішено приділити вивченню Марса та його супутників – Фобоса та Деймоса. Планується створити обладнання для сверління цих небесних тіл та повернення отриманих зразків на Землю.

Серед канадських досягнень вже „пошани” на Марс, називають розроблений в Університеті Калгарі (провінція Альберта) аналізатор космічної плазми, призначений для отримання даних про історію виникнення і склад атмосфери „Червоної” планети. Прилад, встановлений на борту японського апарата „Nozomi”, має прибути на місце призначення 2003 року. Канадські вчені та інженери також створили орбітальний радар, який добре зарекомендував себе під час створення детальної карти поверхні Марса.

Технічний досвід Канади може бути використаний також для конструювання та побудови американських марсоходів, зокрема їх „механічної руки”. Полярники наукової станції на острові Аксель-Хейберг (Канадський Арктичний Архіпелаг) братимуть участь в експериментах, метою яких є пошук слідів життя на Марсі. Канадці також готові у майбутньому взяти участь у польотах людей на Марс.

Представник США (НАСА), науковий керівник дослідження Марсу – Дж. Гарвін (J.Garvin) – привітав розширення співпраці із канадськими колегами. Він зазначив, що НАСА вже працює над створенням до 2007 року апарату для приземлення на Марс. Однак для наступних експериментів, запланованих на 2009 рік, американці готові об'єднати свої зусилля з канадцами, зокрема для розроблення обладнання для сверління, „механічної руки” і нового радара.

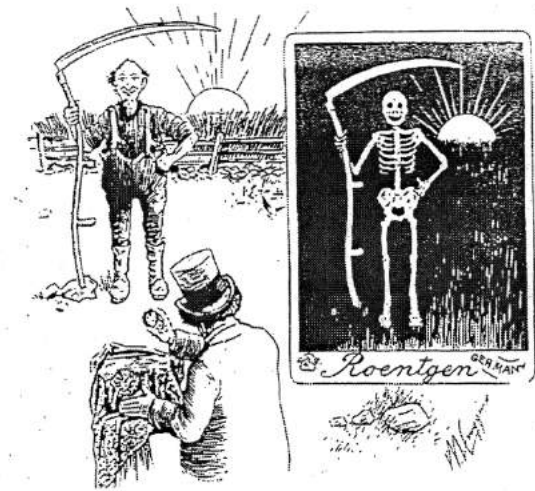
Виконавчий директор Канадського управління із вивчення космосу – М.Гарно (M.Garneau) – припускає, що керівництво держави вважатиме доцільним значно збільшити відповідні асигнування, які сьогодні становлять лише 234 млн. доларів на рік.



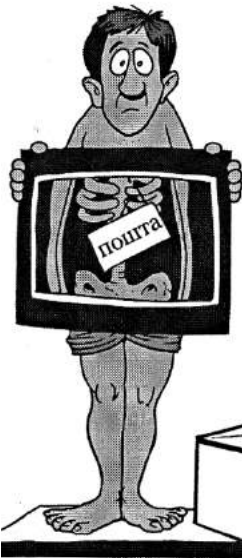
ГУМОР

Вільгельм Рентген після відкриття X-променів одержував величезну кількість листів. Зацікавлення непрофесійної громадськості було для ученого обтяжливим. Переважну більшість листів, як він сам писав, були нецікавими, він використовував їх для опалення своєї кімнати.

Рентген опублікував у пресі прохання не присилати йому жодних листів і прохань. Водночас повідомив, що публікація про його відкриття X-променів знову видрукована і коштує 60 пфенігів.



Тришліть грудну клітку



Однак серед них були і цікаві, на які Рентген давав відповіді. Наприклад такий, де автор просив ученого вислати йому декілька X-променів та написати, як ними користуватись. У його грудній клітці була куля, і автор листа хотів би знати, де вона застрягла.

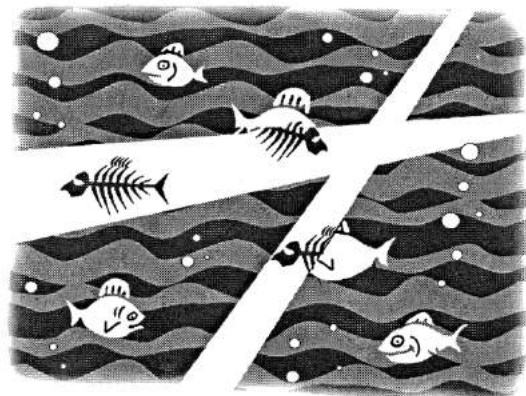
Рентген довго сміявся з цього листа і відповів авторові так: „Шкода, але зараз я не маю у запасі X-променів та й переслати їх буде дуже складно. Зробімо простіше: перешліть мені свою грудну клітку”.

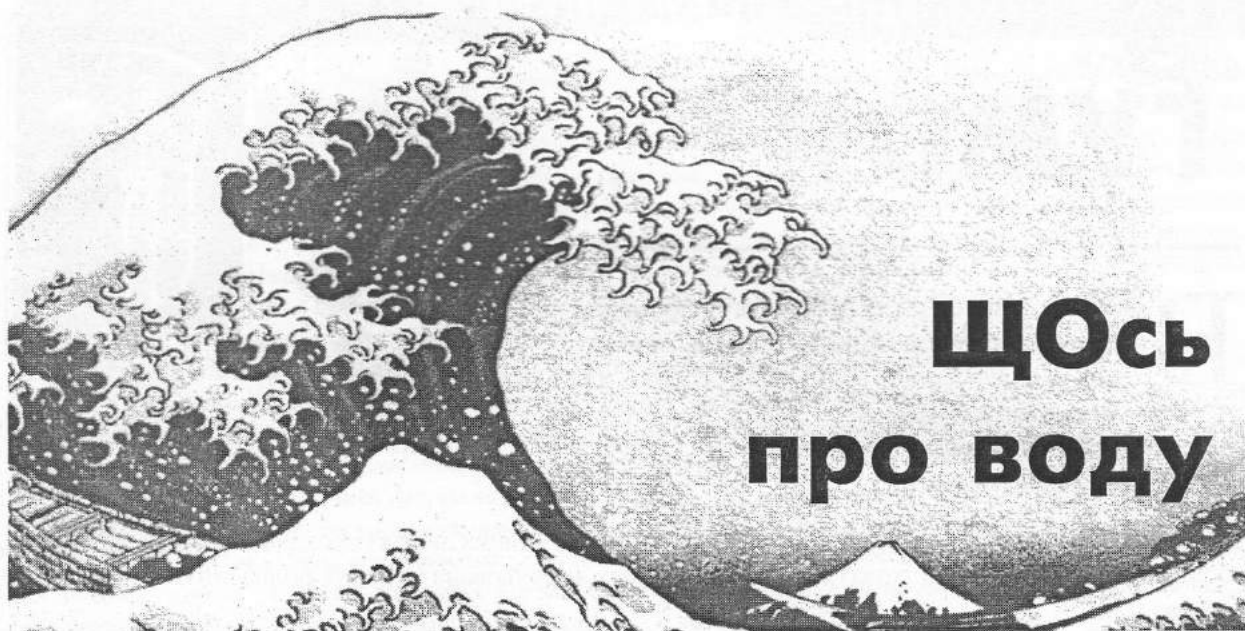
Нехай риби розглядають свої кісточки

Газети з усього світу писали про відкриття X-променів по-різному – з відповідальністю, гумором, сарказмом, з’явилося й багато карикатур.

Одна з лондонських газет зі злістю писала в одній з передових статей: „Нам набридли рентгенівські промені. Можливо найкраще, що треба зробити цивілізованим країнам, – це об’єднатись та спалити всі рентгенівські промені, стратити всіх винахідників, зібрати все обладнання в світі і втопити його в океані.

Нехай риби розглядають свої кісточки, якщо їм цього хочеться, а не ми!”





ЩОсь про воду

ВОДА – найпоширеніша рідина в природі. Вона забезпечує терморегуляцію живих організмів і є основним регулятором теплового режиму нашої планети. Воду здавна застосовують у виробництві, здебільшого як теплоносії і охолоджувальну рідину. Така важлива роль води пояснюється не лише її доступністю та дешевизною. Справжня причина – це унікальність її фізичних властивостей. Вода має аномально високе значення питомої теплоти пароутворення, питомої теплоти, а також дуже велику теплоємність. Поглинаючи велику кількість теплоти, сама вода суттєво не нагрівається. Питома теплоємність води в 5 разів більша, ніж у піску і в 10 разів більша, ніж у заліза.

Цікаво, що теплоємність води аномальна не лише своїм значенням. Питома теплоємність води різна за різних температур, вона зменшується в інтервалі температур від 0 до 37°C, при збільшенні температури вона зростає, мінімальне значення питомої теплоємності води знайдено при температурі 36,79°C, а це, зрозуміло, нормальна температура тіла людини! Нормальна температура майже всіх теплокровних тварин також поблизу цієї температури. З'ясувалось, що за цієї температури відбуваються мікрофазові перетворення в системі „рідина-кристал”, тобто „вода-лід”. Встановлено, що змінюючи температуру води від 0 до 100°C, у ній послідовно відбувається п'ять таких перетворень. Назвали їх мікрофазовими тому, що роз-

міри кристалів мікроскопічні, не більші ніж 0,2–0,3 нм. Температура таких переходів 0, 15, 30, 45, 60°C.

Температурна область життя теплокровних організмів міститься в межах третьої фази (30–45°C). Інші види організмів пристосувались до інших температурних інтервалів, наприклад, риби, комахи, бактерії розмножуються за температур, близьких до середини другої фази (23–25°C), температура весняного пробудження насіння рослин припадає на середину першої фази (5–10°C). Характерне, що температурна залежність питомої теплоємності води має своєрідну симетрію. За від'ємних температур також спостерігається мінімум цієї характеристики. Якщо вода за температури нижчої від 0°C не замерзає, наприклад, перебуваючи в дрібнодисперсному стані, то поблизу –20°C спостерігається мінімальне значення теплоємності. Це встановили американські учені, досліджуючи властивості водяних емульсій, утворених краплинками води діаметром майже 5 мкм.

Дослідники відкривають щораз тонші й складніші механізми внутрішньої організації води. Це дає нам змогу зрозуміти аномальність її теплових характеристик і думати як їх застосувати у майбутньому.

Однак вже нині зрозуміло, що вода не така проста, як нам здавалось.

Олександр Гальчинський

КОНКУРС

„НАУКОВА КНИГА”

Журнал „Світ фізики” оголошує конкурс у номінації „Наукова книга” 2002 року.

Просимо надсилати на конкурс наукові, науково-популярні та навчальні книги з фізики, видані в Україні 2002 року українською мовою та інформацію про авторів, видавництва до 15 грудня 2002 року на адресу редакції журналу „Світ фізики” з поміткою „Конкурс”.

Журі конкурсу у лютому 2003 року оголосить переможців.

Результати конкурсу будуть опубліковані в 1-му числі журналу „Світ фізики” за 2003 рік.

Читачів журналу ми ознайомлюватимемо зі змістом книг, друкуватимемо рецензії на них, розміщатимемо інформацію про авторів та видавництва.

Книги та інші матеріали, надіслані на конкурс, не повертаються.

Адреса: *Редакція журналу „Світ фізики”,
вул. Саксаганського, 1
м. Львів 79005*

КОНКУРС

„ПЕРША НАУКОВА ПРАЦЯ”

В Україні проходить чимало студентських конкурсів, конференцій, де молодь виступає із своїми першими науковими працями. Найкращі наукові праці відзначаються нагородами, іменними стипендіями тощо.

Журнал „Світ фізики” оголошує конкурс студентських та учнівських праць з фізики. На конкурс можуть подавати праці як самі автори, так і їхні керівники чи інші організації (організатори конференцій, конкурсів тощо). Праці на конкурс подаються у двох примірниках українською мовою і мають містити інформацію про авторів, їхню адресу впродовж 2002 року.

Переможці конкурсу будуть оголошені в 1-му числі журналу 2003 року.

Найкращі праці публікуватимуться на сторінках журналу „Світ фізики”.

Усі матеріали рецензуються і не повертаються.

„Де і як придбати журнал „Світ фізики?”

Журнал „Світ фізики” можна придбати у видавництві „Євросвіт”, або передплатити у будь-якому поштовому відділенні України чи видавництві:

Поштовий індекс 22577.

Працівники наукових, обласних, районних та шкільних бібліотек!

Подбайте, щоб у Ваших бібліотеках були всі числа журналу „Світ фізики” для науковців, студентів, учителів, школярів.

Адреса видавництва: СП „Євросвіт”, м. Львів 79005, а/с 6700.



МИСТЕЦЬКА
СТОРИНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



**Мурашко Олександр Олександрович (1875-1919)
"Портрет дівчини в червоному капелюсі" (1902-1903)**

О. Мурашко – видатний майстер портрета. У цьому жанрі художник працював майже все життя й досяг визначних успіхів. Він підніс український портрет на рівень кращих світових досягнень. Цими успіхами О. Мурашко зобов'язаний не тільки своєму непересічному талантові, а й великій школі.

Дитинство Мурашка минуло в Борзні на Чернігівщині та в Чернігові, згодом у Києві, у мистецькому оточенні малювальної школи М. Мурашка. Уже тоді О. Мурашко мріяв про справжню творчість, хоча батько іконописець хотів виховати з нього вправного майстра-богомаза. 1894 року О. Мурашко вступив до Петербурзької академії мистецтв, був улюбленим учнем І. Рєпіна. Після закінчення Академії його відрядили за кордон. Він жив і працював переважно в Парижі й Мюнхені.

У Парижі Мурашко виконав одну з найпривабливіших своїх робіт "Портрет дівчини в червоному капелюсі" (1902-1903). Фарби портрета насичені й яскраві, покладені віртуозно легко. Портрет побудовано на контрасті великих червоної й чорної плям, які становлять головний живописний ефект твору. Художник проникливо трактує привабливий образ молодої дівчини, яка послужила йому за натуру. Зображуючи в портреті ті чи інші предмети, Мурашко дає їм насамперед кольорову характеристику. Завдяки цьому його портрети насичено-декоративні, живописні, проте цю живописність художник завжди прагне підпорядкувати вищим завданням – пізнанню й відтворенню людського образу.