

# С В І Т

# ФІЗИКИ

№2  
2011

науково-популярний журнал



*Головний корпус  
Чернівецького університету  
у спадщині ЮНЕСКО*

**100** років  
НАДПРОВІДНОСТІ



# ВІДЗНАКА “ЗА ПОПУЛЯРИЗАЦІЮ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ”

СП “Євросвіт” і журнал “Світ фізики” заснували щорічну відзнаку

## “За популяризацію фізики в Україні”

для науковців, викладачів вищих навчальних

закладів, учителів та всіх, хто популяризує фізику в Україні.

Відзнаку „За популяризацію фізики в Україні” 2011 року отримав:

**Володимир АЛЕКСЕЙЧУК** за роботу з обдарованою молоддю, популяризацію фізики в Україні.



**Володимир АЛЕКСЕЙЧУК** народився у Львові. Закінчивши школу, він 1973 року вступив на фізичний факультет Львівського державного університету імені Івана Франка, який закінчив 1978 року. Далі працював викладачем фізики у львівській школі. Коли створили Львівський фізико-математичний ліцей при Львівському державному університеті імені Івана Франка (1991), перейшов працювати на кафедру фізики цього навчального закладу, де успішно працює й досі. Він 2007 року став “Заслуженим учителем України”. Успішно працює з обдарованими школярами, виховав велику кількість учнів, які отримували призові місця на Обласних, Всеукраїнських та Міжнародних олімпіадах з фізики, багато з яких

обрали своїм фахом фізику, успішно проводять Всеукраїнський фізичний конкурс “Левеня”, є автором різних публікацій, декількох збірників про конкурс “Левеня”, є автором книжки “Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв’язки” та ін.

## Головний корпус Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича внесено до всесвітньої спадщини ЮНЕСКО

За пропозицією України 35-та сесія Комітету всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, що проходила в Парижі 29 червня 2011 року, резиденцію митрополитів Православної церкви Буковини і Далмації у Чернівцях долучено до Переліку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО.

Резиденція стала третім архітектурним об’єктом в Україні, якому присвоєно цей статус, після комплексу Софійського собору і Києво-Печерської лаври та історичного центра Львова.

Резиденцію споруджено у 1864–1882 роках за проектом і під керуванням чеського архітектора Йозефа Главки. Оздоблювальні роботи інтер’єрів виконали віденські художники К. Обст, І. Кляйн, чеський К. Свобода, буковинські Е. Бучевський і Є. Максимович. Будівля органічно поєднує візантійський і романський архітектурний стилі, містить різьблені башточки, дахи з кольорової черепиці, унікальний мармуровий зал і дерев’яний декор. Майже все в резиденції збереглося у первозданному вигляді. Об’єкт об’єднує духовну семінарію, монастир і є видатним прикладом історичної архітектури XIX сторіччя.

Нині в цій будівлі розміщено головний корпус Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича\*. На другому поверсі розташовані Мармурова, Блакитна та Червона зали. У лівому корпусі – колишня семінарська церква (нині університетська церква Трьох Святителів). Зі слів ректора Університету, професора Степана Мельничука, цей корпус повністю звільнять від навчальних занять, там облаштують музей і виставковий зал. Для облаштування інфраструктури потрібні чималі кошти, адже прогнозують збільшення кількості туристів до Чернівців.



\*Докладніше про Університет читайте у журналі “Світ фізики”, 2005, № 2.

Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",  
заснований 1996 року.  
реєстраційне свідоцтво № KB 3180  
від 06.11.1997 р.

Виходить 4 рази на рік

**Засновники:**

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

Головний редактор

**Іван Вакарчук**

заступники гол. редактора:

**Олександр Гальчинський**

**Галина Шопя**

Редакційна колегія:

**Ігор Анісімов**

**Михайло Бродин**

**Петро Голод**

**Семен Гончаренко**

**Ярослав Довгий**

**Іван Климишин**

**Юрій Ключковський**

**Богдан Лукіянець**

**Олег Орлянський**

**Максим Стріха**

**Юрій Ранюк**

**Ярослав Яцків**

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

**Мирослава Прихода**

Комп'ютерне макетування та друк  
СП "Євросвіт". наклад 1000 прим.

**Адреса редакції:**

редакція журналу "Світ фізики"

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

phworld@franko.lviv.ua; sf@ktf.franko.lviv.ua

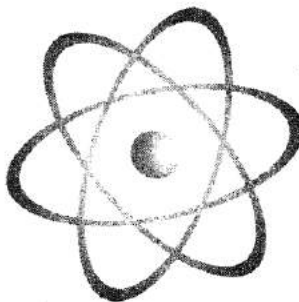
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

У новоствореному Львівському університеті (1661) працювали два відділи – філософський і теологічний.

Згодом (1784) в Університеті діяло чотири факультети – філософський, теологічний, правничий і медичний.

Нині у Львівському національному університеті імені Івана Франка працюють такі факультети:

- **біологічний** (дослідження з біології розпочалися у 1774 р.);
- **географічний** (географічна освіта започаткована з 1882 р.);
- **геологічний** (1852 р. засновано мінералогічний музей і три кафедри геологічного профілю);
- **іноземних мов** (одна з найдавніших, її традиції сягають XVII ст.);
- **історичний** (з 1739 р. почали викладати історію як окремий предмет);
- **економічний** (формування бере свій початок від кін. XVIII – поч. XIX ст.);
- **електроніки** (2003 р., після поділу фізичного факультету Університету);
- **журналістики** (1953);
- **культури і мистецтв** (2004);
- **механіко-математичний** (1744);
- **міжнародних відносин** (1992);
- **прикладної математики та інформатики** (1956);
- **фізичний** (викладання фізики сягає середини XVII ст.);
- **філологічний** (початок філологічної науки бере з 1848 р.);
- **філософський** (від часу заснування Університету, 1661 р.);
- **хімічний** (викладання хемії почалося з 1784 р.);
- **юридичний** (1784).



**Не забудьте  
передплатити журнал  
"Світ фізики"**

**Передплатний індекс  
22577**

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

# ЗМІСТ

## **1. Нові та маловідомі явища фізики**

*Локтєв Вадим.* Чи може бути фізика не обов'язковим предметом у середній школі? 3

*Стефанюк Богдан.* Особливості води як молекулярно-ансамблевої наноструктури 12

## **2. Олімпіади, турніри...**

Умови задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (Одеса, 2011 р.) 20

*Орлянський Олег.* Авторські та робочі умови олімпіадних задач 26

## **3. Нобелівські лавреати**

*Шопа Галина.* Нобелівські премії за відкриття і дослідження надпровідності 34

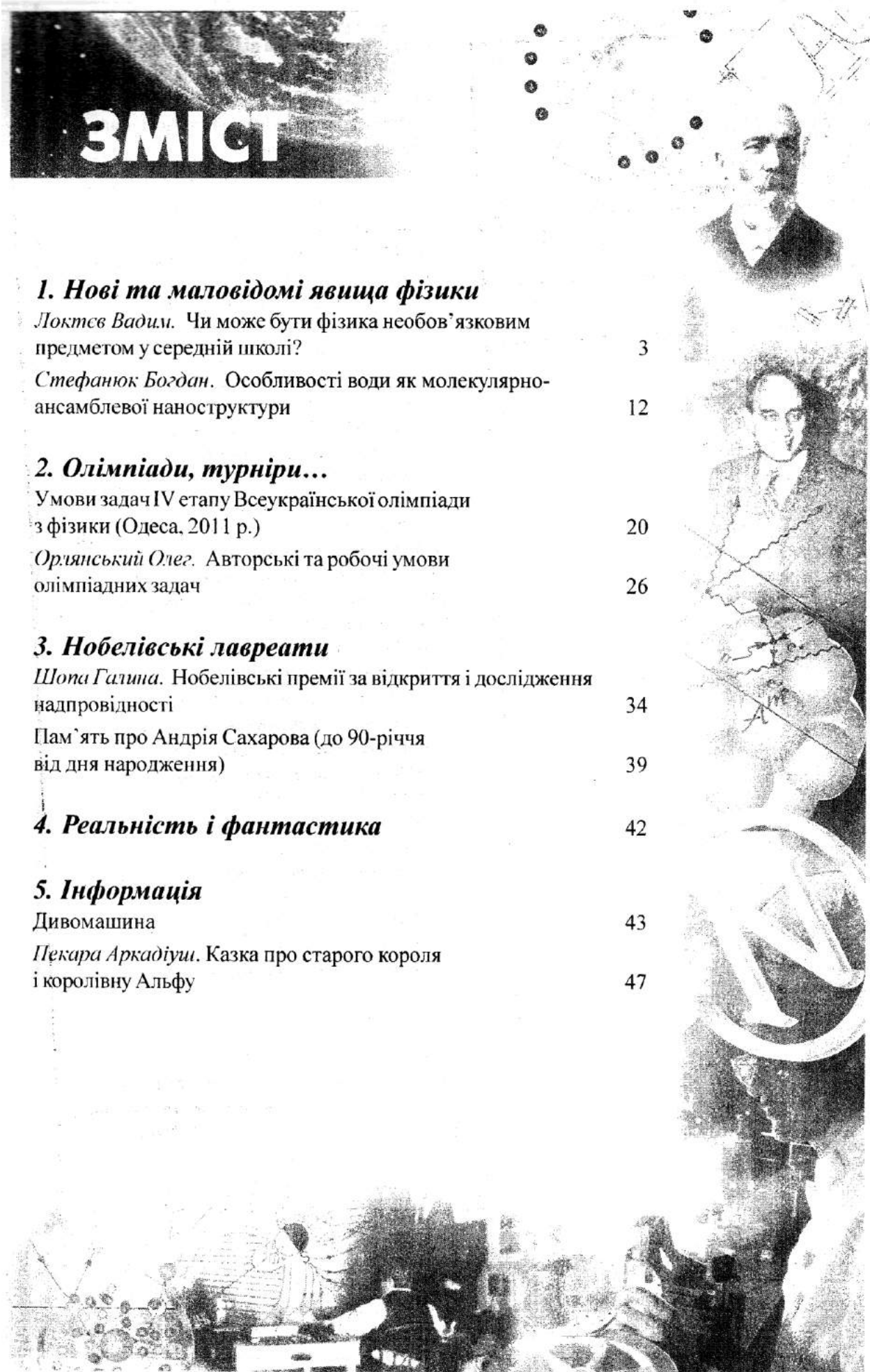
Пам'ять про Андрія Сахарова (до 90-річчя від дня народження) 39

## **4. Реальність і фантастика** 42

## **5. Інформація**

Дивомашина 43

*Пекара Аркадіуш.* Казка про старого короля і королівну Альфу 47





## Чи може бути фізика необов'язковим предметом у середній школі?

Вадим Локтєв,  
академік НАН України

*“Фізика – це наука, під прапором якої відбулася науково-технічна революція ХХ сторіччя. ...Нашим потомкам не доведеться відкривати фізичні закони заново, а успіхи фізики й нині визначають напрям подальшого прогресу людства.”*

О. О. Абрикосов,  
Нобелівський лауреат з фізики за 2003 р.

Напевно кожний неупереджений громадянин, враховуючи навіть школярів і студентів, відчуває, що з науковим сектором у нашій державі щось не так. Внаслідок самоусунення її керівних органів від належної фінансової підтримки фундаментальних досліджень фактично попираються права науковців на повноцінну плідну роботу, а молодь, на жаль, не висловлює палкого бажання долучитися до захопливої й всепоглинальної діяльності – мета якої пізнання. До того ж, коли правлять бал “їхня величність” гроші, а основні особистісні цінності, на які спирається світогляд, – культура, мораль, мистецтво, освіта, наука – відступають на другий план, то все, що вимагає розумової роботи, стає непотрібним, і вже ніщо не може утримати людей від занурювання в темряву.

Такі думки ненавмисно виникають, коли дізнаєшся, що за новим, нещодавно запропонованим у Росії, освітнім стандартом фізика (а разом з нею всі інші природничі предмети, крім математики, – і за це треба дякувати!) вилучені зі списку обов'язкових шкільних дисциплін. Добре відомо, “Україна – не Росія”, та водночас

ми знаємо, як часто, навіть уже будучи два десятиліття незалежні та вільні, дивимось на колишню “старшу сестру”, обираючи її за приклад і повторюючи її помилки.

Одна з них – небезпечне для майбутнього нерозуміння лідерами держави, що фізика посідає особливе місце серед інших наук, оскільки вивчає найосновніші, найфундаментальніші закони нашого світу. Будучи універсальними, вони з успіхом пояснюють властивості зір і атомів, кристалів і живих клітин, політ супутників і роботу комп'ютерів тощо. До того ж фізичні закони незмінні в часі та просторі, тобто на Землі вони тотожні тим, що визначають еволюцію далеких галактик. І кожний новий відкритий закон надавав і надає додатковий імпульс для розвитку людства.

Тому вірю в наших керманців і сподіваюсь, що подібного стандарту у нас не введуть, хоча оприлюднений Проект Концепції про середню освіту великих підстав для оптимізму не дає. А щоб нагадати молодим читачам “Світу фізики”, багато з яких перебуває у



хвилюючому стані вибору майбутньої головної справи життя, що дала фізика, хочу ще й ще раз наголосити: без фізики, зокрема й фундаментальної науки, загалом, годі й думати, що Україна може сподіватись на повагу з боку інших країн і народів. Лише освічена держава, що бере активну участь у створенні засад для подальшого прогресу, тобто вирощує і підтримує фахівців, які спроможні здобувати і переробляти нові знання про Природу і Всесвіт, відчуватиме свою потрібність для решти людства Землі, буде для нього потрібною для власного існування одиницею, а не просто територією.

Багато передових країн настільки глибоко усвідомили роль нових знань на сучасному етапі розвитку, що ООН стала оголошувати той чи інший рік роками наук. Згадаймо – **2005-й був роком Фізики, 2009-й – роком Астрономії, 2011-й – роком Хемії\***.

Безумовно, це свідчить про підвищення зацікавлення суспільства до пізнання як процесу, і, хотів би думати, наші можновладці також звернуть увагу і зрозуміють, що без науки нема майбутнього. Якщо таке станеться, ситуація радикально зміниться, і школярі масово прагнутимуть дослідницької діяльності не менше, ніж тепер так званої фінансово-економічної або юридичної. Тоді вже на шкільній лаві молодь цікавитиметься науковою і освітньою сферами як такими, де можна і треба прикласти власних зусиль, знаючи, що попе-

реду не лише прекрасне, повне емоцій і радощів, а й нормальне за побутовими умовами життя.

Водночас життя складне, бо наука вимагає 100-відсоткової віддачі, неперервного професійного навчання і сталого характеру, бо без часом гірких розчарувань, коли щось не вдалося, а ще гірше, коли хтось виявився вправнішим і знайшов відповідь на досліджуване питання раніше, не обійтись. Тому, попри згадані складнощі, спробую хоч трохи загітувати тих, хто вагається, бо час від часу кількість і глибина вже отриманих і відомих фактів, трошки лякає навіть найздібніших і найспроможніших.

Почну з того, чи насправді в фізиці треба знати і пам'ятати, що накопичено попередниками?

Справді, з різних популярних і навчальних книжок ми багато чого знаємо. Наприклад, що Земля не пласка, як ми начебто бачимо доккола, а куляста з радіусом майже 6,5 тис. км. На іншому “кінці” розмірів ніколи небачені людиною ядра атомів, які, як нам відомо, складаються з протонів і нейтронів, а їхній радіус становить мізерну, з побутового погляду, величину  $10^{-13}$  см. Гравітаційна або кулонівська взаємодії згасають обернено пропорційно до квадрата відстаней між тілами або зарядами. У нашій Галактиці приблизно  $10^{11}$  зір, а температура на поверхні Сонця оцінюється в 6000 градусів.

\*Згідно резолюції 63 Асамблеї ООН 2011 рік оголошено роком Хемії. Юнеско та IUPAC відповідають за підготування цієї події. Національна та міжнародна діяльність 2011 року має відображати важливість хемії та її внесок у приріст знань, поліпшення здоров'я, харчування, екологічної безпеки та економічного розвитку. Президент IUPAC також нагадав, що 2011 рік – це сота річниця вручення другої Нобелівської премії з хемії видатному французькому фізику польського походження Марії Склодовській-Кюрі (Marie Skłodowska-Curie, 1867–1934) “за видатні заслуги в розвитку хемії: відкриття елементів радію і полонію, виділення радію і вивчення природи і сполук цього елемента”. Першу Нобелівську премію вона отримала з фізики 1903 року “за відкриття спонтанної радіоактивності та дослідження явища радіоактивності, які відкрив професор А. Беккерель”. Ця подія – це добра нагода для світового хемічного співтовариства відзначити внесок жінок у цю науку. До того ж, 2011 року будуть відзначати ювілей заснування Міжнародної асоціації хемічних товариств.



Ці прості, здавалося б, відомості лише мала частина тисяч інших, до того ж абсолютно різних – простих і складних для усвідомлення. Всі вони разом утворюють *впорядковану* для розуміючих, мозаїку, що називають фізичною картиною світу. Та навіть найзнаніші вчені неспроможні вмістити в пам'яті всю накопичену інформацію про Всесвіт – це неможливо для утримання в голові. Відповідні дані в усій сукупності неспроможний вмістити жодний існуючий суперкомп'ютер, бо інформація тільки про розміри, температуру, спектральний клас і координати розташування в просторі лише щодо зір нашої Галактики становить десь 2–3 терабайти, що більше, ніж ємність наймісткіших нині магнетних дисків. Якщо ж додати інші важливі характеристики зір, то обсяг інформації зростає в десятки і сотні разів. І це тільки астрономічні дані, а ще є частинки, молекули, речовини і сполуки, матеріали та велика кількість їхніх властивостей. Далі – хемія, біологія, жива матерія...

Стає зрозумілим: не тільки запам'ятати, а й записати куди-небудь таку кількість літер і цифр неможливо. Та, на щастя, робити таке й не потрібно! У цьому й полягає деколи незбагнена гармонія оточуючої нас природи, коли нескінчена різноманітність спостережуваних і принципово дозволених для реалізації природних і штучних ефектів ґрунтується на скінченній і досить невеликій кількості основоположних принципів, які називають *законами*. Розкривши зміст останніх, вдається не тільки зрозуміти та описати безліч явищ, а й передбачити нові, раніше невідомі. Візьмемо хоча б відому систему рівнянь Джеймса Максвелла, що започатковані півтори сторіччя тому, які дали змогу об'єднати розрізнену, на перший погляд, і неосяжну сукупність електричних і магнетних явищ, а також поставити їх на службу людям.

Загалом, основне завдання фізики не змінилася – побудувати єдину теорію, яка б в ідеа-

лі містила декілька фундаментальних рівнянь, що описують всі відомі факти, і правильно передбачала б нові. В разі успіху можна було б стверджувати, що фізика неживої матерії створена, але коли це відбудеться і чи відбудеться коли-небудь загалом, ніхто сказати не в змозі, принаймні тепер. А отже, розгадувати *фізичні* закони живої природи треба по суті паралельно з побудовою, як кажуть, *теорії всього* (theory of everything).

Допитливу людину цікавить й інше: а звідки ми це знаємо і чому так впевнені, що все відбувається саме так, як приписує фізика?

Скажімо, що в ядрі гелію два протони і два нейтрони, що Земля близька до кулі, що сила тяжіння двох об'єктів пропорційна до їхніх мас, що рівняння Максвелла описують електромагнетні хвилі і багато чого ще.

Кожний відповідь – з експериментів, які людство давно почало виконувати, відмовившись від простого споглядання природних явищ і замінивши їх спеціально поставленими, свідомими лабораторними дослідженнями.

Уже на межі XVI–XVII століть, тобто лише 300–350 років тому, люди дійшли висновку, що пізнання природи можна і треба робити за приблизною схемою:

*спостережуване явище → можливе  
пояснення → висновки і передбачення →  
лабораторний експеримент →  
повна теорія*

Справді, після спостереження того чи іншого процесу виникає бажання його пояснити, або висловити припущення/гіпотезу щодо причини появи; далі йдуть висновки і аналіз можливих наслідків, перевірка яких вимагає нових експериментів. Якщо передбачення справдилось, наступним є побудова більшої повної теорії із застосуванням найсучаснішої на відповідний момент математики і можливі узагальнення, максимально вільні від конкретики здійсненого.



Щодо передбачень, то це можуть бути і розмірні числа для перевірки вимірюваних величин, і невідомі раніше залежності останніх від тих чи інших зовнішніх параметрів або, нарешті, деколи несподівані зв'язки між ними. Проте не так рідко буває, коли передбачення не справджуються і треба повернутися на другий етап, запропонувати чи знайти інше пояснення і ще раз пройти по тому ж шляху, повторюючи це, поки все не стане зрозумілим, а висновки – прогнозованими.

Здавалося б, усе просто, і ланцюжок послідовних дій зрозумілий і виконуваний. Це так лише з першого погляду, та існує немало прикладів, коли час від його (ланцюжка) початку до кінця забирав століття!

Найвідоміша – загальна будова Всесвіту, схему якого деякі мислителі почали пропонувати задовго до нової ери літочислення, відколи стала панівною Птолемеєва, або *геоцентрична*, система світобудови. За нею центром світу вважалася нерухома наша рідна планета Земля, а довкола неї “літали” Сонце, інші планети і Місяць.

Як це не дивно, але таке уявлення, можна сказати, безтурботно проіснувало понад півтори тисячоліття, але під напором незаперечних спостережень, які поступово удосконалювали та уточнювали, все ж почало стикатися з серйозними труднощами, коли передбачення про положення небесних тіл на сферично-подібному небосхилі не узгоджувалися з їхнім реальним розташуванням.

Саме це примусило польського астронома Ніколя Коперніка у середині XVI сторіччя відмовитись від геоцентричної моделі і висунути принципово іншу – геліоцентричну, за якою центром обиралося Сонце, а Земля визначалася лише як одна з планет, що відрізняються розмірами, умовами існування та орбітами. Ця система, яку спочатку жорстко забороняла церква, не тільки вижила, а й стала єдиною правильною завдяки блискучим вимірюван-

ням Тихо Браге, які повністю їй відповідали. Нині геліоцентрична система є загальноприйнятою. В її становленні вирішальну роль зіграв експеримент, який тепер вважається не лише необхідною складовою, а й критерієм істини, коли йдеться про пізнання. Він стає визначальним, коли призводить не лише до якісного знання, а й встановлює кількісні співвідношення, тому порівняння обчислень з вимірюваннями – цілком однозначна і при цьому, до деякої міри, рутинна і водночас ключова процедура будь-якого чергового заглиблення в природу речей.

За роки розвитку науки було проведено багато тисяч, якщо не десятки тисяч, експериментів. Про них розповісти неможливо навіть за великого на то бажання. Але серед них завжди є так звані *experimentum cricis* – вирішальні (лат.), постановка яких і проведення дали відповіді на глибинні питання свого часу. Визначити їх не лише не просто, а непосильне завдання для будь-кого, зокрема й фахівців. Відповідний відбір можна здійснити колективно, що для фізичних експериментів фактично було зроблено п'ять років тому однією з найвідоміших світових газет “New York Times”, яка провела опитування кількох тисяч фізиків у різних країнах. Кожний з них мав назвати 10 найкрасивіших і важливих для подальшого прогресу експериментів фізичного спрямування. Тому вважаю потрібним для розширення ерудиції кожного читача розповісти про ті експерименти, які потрапили до чільної десятки.

### 1. Експеримент Ератосфена Кіренського

Цей експеримент найдревніший з відомих, який провів у III столітті до Р. Х. бібліотекар знаменитої Олександрійської бібліотеки. Він був присвячений вимірюванню радіуса Землі. По суті тоді не було вимірювальних засобів, але схема експерименту до геніальності проста.





Опівдні, в день літнього сонцестояння, в місті Сієні (нині Асуан у Єгипті) Сонце знаходилось у зеніті, а, отже, предмети не відкидали тінь. Точно тоді ж у місті Олександрії, що віддалено на 800 км від Сієну, Сонце вже було відхилено від вертикалі приблизно на  $7^\circ$ , що становить майже 0.02 від повного кола (або  $360^\circ$ ). Звідси можна легко обрахувати, що окружність Землі дорівнює 40000 км, а її радіус, відповідно, – 6300 км.

Просто неймовірно, що знайдений таким простим способом радіус лише на 5 % менший від відомого сьогодні і вимірний найсучаснішими приладами!

## 2. Експеримент Галілео Галілея

З історії відомо, що до середини XVII століття правильною вважалася точка зору Аристотеля, що швидкість падіння тіла залежить від його маси, до того ж важчі тіла падають швидше.

Ми можемо самі проекспериментувати і пересвідчитися, що дослід начебто відповідає цьому. Спираючись на подібні спостереження. Аристотель і дійшов висновку, що Земля сильніше притягає важчі тіла, тобто й падати вони мають швидше. Насправді ж, на падіння, як ми тепер знаємо, впливає не лише сила тяжіння, але й опір повітря, до того ж співвідношення обох чинників для різних тіл, звичайно, різне, що, врешті решт, і зумовлює неправильні висновки з простих, непроаналізованих спостережень.

Галілей вирішив акуратно перевірити припущення Аристотеля. Він кидав із Пізанської вежі гарматне ядро і легшу мушкетну кулю. Оскільки обидва предмети мали подібну опуклу форму, то опір повітря для них був майже однаковим. Відтак досліднику вдалося встановити, що, на відміну від твердження Аристотеля, тіла досягають Землі одночасно. Іншою мовою, було *експериментально* або однозначно, встановлено: швидкість падіння

від маси не залежить, що стало одним з найфундаментальніших чинників для майбутнього розвитку механіки і теорії тяжіння.

## 3. Ще один експеримент Галілео Галілея

До десятки, третім за рейтингом, потрапив дослід Галілея з вимірювання інертних сил. Дослідник вимірював відстані, які кулі, що котяться по похилій площині, долали за рівні проміжки часу. Він з'ясував, що якщо час збільшується вдвічі, то кулі проходять вчетверо більшу відстань. У свою чергу, це свідчило, що під дією сили тяжіння кулі рухаються прискорено. А це також прямо суперечило відомому і такому, що приймалось на віру майже два (!) тисячоліття, твердженню того ж Аристотеля, що тіла, на які діє сила, рухаються з постійною швидкістю, а якщо діючої сили нема, то вони перебувають у стані спокою. Результати Галілея згодом використав І. Ньютон під час побудови класичної механіки.

## 3. Експеримент Генрі Кавендіша

Як відомо, закон всесвітнього тяжіння стверджує, що сила притягання між двома тілами прямо пропорційна до їхніх мас і обернено пропорційна до відстані між ними. У цьому законі невідомою залишалася величина гравітаційної константи  $\gamma$ , яка є розмірною. Щоб визначити її, треба було виміряти силу притягання між двома тілами з визначеними масами і відомою відстанню між ними. Таке вимірювання надзвичайно складна проблема, бо відповідна сила дуже мала. Так, ми знаходимося в полі тяжіння Землі, відчуваємо його, але, наприклад, як ми притягаємось наповненим самоскидом або ще важчим залізобетонним будинком, абсолютно не знаємо, бо ніякого впливу на нас від такого ефекту немає.

Тонкий чутливий метод вимірювання сили притягання і запропонував співвітчизник Ньютона лорд Кавендіш 1798 року.



Він взяв крутильні ваги, або коромисло з двома кульками, що висить на тонкій легкій нитці. Далі вимірювався зсув цих кульок з наближенням до них важчих предметів, переважно важких куль. Так, ваги реагували на таке збурення, але внаслідок малості прямо виміряти його було також важко. Тому Кавендиш зробив спеціальні дзеркальця, приєднав їх до кульок і спостерігав за світловими зайчиками від них на спеціальній площині, що суттєво підняло чутливість таким чином зробленого пристрою. Так вдалося достатньо точно встановити шукану величину константи  $g$  і вперше дати досить точне значення маси Землі.

### 5. Маятник Фуко

Французький фізик-експериментатор Жан Бернар Леон Фуко 1851 року зумів запропонувати експеримент, який наочно продемонстрував добове обертання Землі довкола своєї вісі. Для цього, виходячи з положення, що площина фізичного маятника під час його коливного руху залишається у системі відліку, пов'язаною із зорями, постійною, він за допомогою 67-метрового маятника, підвішеного під куполом паризького Пантеону, зумів довести спостерігачу, який стоїть на Землі та обертається разом з нею, як площина коливань поступово відходить від вихідного свого положення у бік, протилежний до напрямку обертання Земної кулі.

Відтоді подібні маятники, які стали називати *маятниками Фуко*, були побудовані у багатьох країнах, а церква вимушена була відмовитись від заборони щодо правильності геліоцентричної будови нашої планетної системи і визнати рухомість Землі.

### 6. Експеримент Ісаака Ньютона

Ісаак Ньютон 1672 року здійснив просте спостереження, яке описане майже у всіх шкільних

підручниках. Зачинивши віконниці, тобто затемнивши приміщення, він зробив у них отвір так, щоб сонячний промінь було видно, мав окреслену чітку форму, і поставив на його шляху скляну призму, за якою знаходився екран. Завдяки цьому, на екрані виникла "веселка", що свідчила про перетворення так званого *білого*, або сонячного, світла на декілька кольорових – від червоного до фіолетового. Такий розклад білого пучка світла на декілька інших отримав назву *дисперсії*.

Насправді, сер Ньютон був не першим, хто побачив це явище. Вже на початку нашої ери було відомо, що великі природні кристали, будучи якісними, можуть перетворювати світло на кольорові складові, створюючи щось подібне до веселки. Також до Ньютона деякі дослідники проводили вимірювання дисперсії світла, але це були нерегулярні спостереження без глибоких висновків. До того ж, до Ньютона вважався правильним вислів Аристотеля про домішування до білого світла темряви, коли її більший внесок дає фіолетову гаму, а менший – червону. Ньютон же серією дослідів зі схрещеними призмами довів, що ніяка темрява до світла не додається і ніякого світла не виникає з білості і темноти й що кількість світла не перетворюється в якість – колір. Нарешті, основним висновком Ньютона був такий: біле світло є складеним, а його складові – всі кольори від червоного до фіолетового.

Ми ж можемо лише констатувати, як різні люди, спостерігаючи одне й те ж явище, порізнному його інтерпретують. Ті, хто ставить правильні запитання і проводить додаткові, перевірені експерименти, може прийти до правильних висновків.

### 7. Експеримент Томаса Юнга

Упродовж багатьох сторіч, аж до XVII, існували уявлення, що світло є нічим іншим, як потоком окремих частинок – так званих *кор-*



пускул. І хоча явища дифракції та інтерференції спостерігав ще Ньютон (відомі “кільця Ньютона”), загальноприйнятою була точка зору про корпускулярну природу світла.

Водночас для хвиль було добре відоме явище інтерференції, яке полягає в періодичному підсиленні або послабленні амплітуди коливань двох хвиль, що одночасно існують у просторі. Так, коли хвилі води розходяться від двох кинутих в неї камінців, то там, де ці хвилі зустрічаються, з’являються місця і з амплітудою, меншою від вихідних, і більшою від них. Та це стосувалося хвиль.

Англійський фізик і лікар Т. Юнг 1801 року вирішив перевірити чи притаманне явище інтерференції світлові. Для цього він розпочав експериментувати з променем, який направлявся на непрозору площину з двома щілинами. Останні як два джерела моделювали ту саму пару каменів, що падали у воду. В результаті, на наступному за площиною екрані дослідник доволі несподівано вперше спостерігав світлову інтерференційну картину, що складалася з переміжних світлих і темних смуг і не могла бути створеною потоком корпускул. Темні смуги відповідали зонам взаємного гасіння хвиль від різних джерел-щілин, а світлі – зонам їх (хвиль) додавання. Так, Юнгові вдалося незаперечно довести *хвильову* природу світла.

### 8. Експеримент Клауса Йонсона

Дослід поставив німецький фізик-експериментатор відносно недавно, 1961 року, коли було відтворено вимірювання Томаса Юнга, але для справжніх частинок – монохроматичних пучків електронів. Йонсон також спостерігав картину, аналогічну тій, яку бачив Юнг для світла, що яскраво свідчило на користь положень квантової механіки, яка стверджує *корпускулярно-хвильовий дуалізм*, або змішану природу елементарних частинок.

### 9. Експеримент Роберта Міллікена

Експеримент проведено 1913 року, він стосувався природи електричного заряду – дискретна вона або неперервна. Треба зазначити, що уявлення про його дискретність, або, точніше, існування найменшого значення заряду, яке вже не підлягає подрібненню, висловлено ще на початку XIX сторіччя, їх поділяли такі видатні фізики того часу, як Майкл Фарадей та Герман Гельмгольц. Скажу більше, у фізичний вжиток було введено нове слово “*електрон*”, що позначало деяку частинку – носія елементарного електричного заряду. Проте це означення, значною мірою, залишалось формальним, оскільки ні сама частинка, ні приписаний їй елементарний електричний заряд не були відомі як експериментально зафіксовані. На межі XIX–XX сторіч, а точніше – 1895 року, німецький фізик Вільгельм Конрад Рентген відкрив, що аноди розрядних трубок під дією падаючих на них променів від катодів спроможні генерувати деяке інше випромінювання, яке він назвав X-променями, а ми називаємо рентгенівським випромінюванням. Того ж року, француз Жан Батист Перрен зумів експериментально довести, що катодне випромінювання не що інше, як потік фактично невідомих негативно заряджених частинок. Проте, попри наявність величезної кількості експериментальних свідчень щодо таких частинок і їх виявів, електрон був гіпотетичним об’єктом, бо ніхто не продемонстрував явища, де б були задіяні окремі електрони.

Це зробив американський фізик-експериментатор Роберт Міллікен, який здійснив вимірювання так елегантно, що його дослід став класичним і тепер його використовують як навчальний у лабораторних роботах студентів-фізиків.

У чому ж суть цього експерименту?

Р. Міллікен розробив метод крапель, за яким навчився ізолювати в проміжку між пластинами конденсатора відносно малу кількість



заряджених крапель рідини – здебільшого, води. Далі, шляхом дії рентгенівськими променями на повітря між пластинами, можна було його (повітря) йонізувати, що, в свою чергу, змінювало заряд крапель. Коли конденсатор був зарядженим, то за допомогою електричного поля можна було викликати і спостерігати рух завислих крапель догори, коли ж конденсатор вимикався, вони рухались донизу під дією поля гравітації. Почергово вмикаючи і вимикаючи конденсатор вдавалося приблизно майже хвилину вивчати рух кожної зі створених крапель окремо, після чого вони випаровувалися.

Почавши експериментувати з краплями 1906 року, Міллікен продовжував робити це з граничною ретельністю впродовж кількох років. До 1909–1910 років він з великою точністю впевнився, що заряди крапель змінюються виключно дискретно, причому зміни завжди кратні деякій фундаментальній величині  $e$ , яка і була зіставлена заряду електрона. Отримані результати вперше доводили дискретний характер заряду, а електрони утверджувалися як реально існуючі частинки. Перше вимірне значення свідчило, що за модулем  $e \approx 4,89 \times 10^{-10}$  електростатичних одиниць, або CGSE.

Далі Р. Міллікен змінив воду маслом, що значно збільшило час випаровування, а отже, і час спостережень, який досягнув кількох годин. Таке удосконалення дало змогу уточнити заряд до цифри, якій повірив сам дослідник, тому лише 1913 року він наважився оприлюднити свої дані, опублікувавши значення  $e \approx 4,774 \times 10^{-10}$  CGSE.

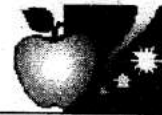
Без будь-якого перебільшення дослідження Р. Міллікена стали етапними в розвитку фізики XX сторіччя, а 1923 року за ці праці його заслужено нагородили Нобелівською премією з фізики.

Насамкінець, додам, що нині точним значенням елементарного заряду, або, що те ж саме, заряду електрона, вважають величину  $e \approx 4,8032 \times 10^{-10}$  CGSE.

## 10. Експеримент Ернста Резерфорда

Початок XX сторіччя відзначився бурхливим розвитком різних напрямів фізики, в активі якої вже було не лише розуміння атомної будови матерії, а й певні знання про будову самих атомів. Їх вважали неподільними і такими, що складаються з двох сортів частинок – негативно заряджених електронів і позитивного заряду невідомої природи, відтак загалом атоми були нейтральними утвореннями. Такі уявлення про позитивно-негативну і по суті змішану природу розподілу заряду в атомній системі були на той час досить розповсюдженими, але не було жодних експериментальних свідчень ні про його просторову густину, ні про фактичні розміри атомів. І загалом переважна більшість фізиків поділяла погляд видатного англійського фізика-експериментатора Джозефа Джона Томпсона (всесвітньо відомого тим, що 1897 року він перший виміряв масу електрона і за це його 1906 року нагородили Нобелівською премією з фізики), який 1903 року запропонував модель атомної будови. За цією моделлю атом – це позитивно заряджена сфера, що має діаметр приблизно  $10^{-8}$  см, з плаваючими всередині електронами.

Так продовжувалося до 1909 року, коли також англієць і, мабуть, перший фізик-ядерник Ернст Резерфорд не вирішив поставити експеримент, в якому забажав перевірити, а яка ж насправді структура атому. Для цього він використовував відносно важкі й позитивно заряджені  $\alpha$ -частинки, які сам відкрив (їхній заряд  $e_\alpha = 2e$ ), які їх пришвидшували до швидкостей 20 км/с, і направляли на тонку золоту фольгу, розсіюючись у ній на атомах золота,



що зумовлювало їх (частинок) відхилення від первісного напрямку руху. Його вимірювали за спалахами на пластині сцинтилятора, що зумовлювалися падінням на неї розсіяних  $\alpha$ -частинок. У цих вимірюваннях, що продовжувалися понад два роки, Резерфорд разом зі своїми учнями спостерігав безліч (до мільйона) спалахів і переконливо довів, що в середньому десь одна з майже 10000  $\alpha$ -частинок відхиляється на кут, більший від  $90^\circ$ . Останнє свідчило, що в таких актах розсіяння частинка фактично повертається назад, що не могло відбуватися, якщо б атом відповідав достатньо рихлій, нейтральній структурі Томпсона.

Проаналізувавши свої результати і провівши деякі обчислення, Резерфорд зупинився на моделі, яка найкраще описувала дані, які він отримав. Відтак він висунув *планетарну модель атома*, що певним чином нагадувала геліоцентричну. За запропонованою Резерфордом планетарною моделлю, атом – це крихітне масивне ядро (аналог Сонця) з розмірами, що не перевищують  $10^{-13}$  см, з електронами-“планетами”, які обертаються довкола нього на орбітах з радіусами  $10^{-8}$  см.

Такими сучасні фахівці побачили найвизначніші експерименти минулого, які зумовили наш поступ на важкому шляху до правильного пізнання, правильних поглядів на світобудову і природу речей.

Впадає у вічі, що всі ці досліді були лабораторними в прямому сенсі і не коштували дорого, що принципово відрізняє стару, добру фізику, від сучасної, коли експерименти (за малим винятком) коштують надзвичайно дорого і часом навіть не підйомні для однієї, навіть багатой, країни (чого тільки варті наукові космічні апарати, підземні нейтринні лабораторії, багатометрові телескопи, Великий адронний колайдер у Женеві або термоядер-

ний – лише демонстраційний! – реактор, місце для спорудження якого все ще обирають тощо). Але без відповідних витрат неможливо просуватися вглиб Природи, і фізика невпинно продовжує бурхливо розвиватися. Вчені пробувають краще зрозуміти, що відбувається на дуже малих відстанях, коли атомне ядро не за аналогією, як кажуть, а справді стає Сонячною системою, і на дуже великих, де зорі, аналогічні Сонцю, адже саме воно лише піщинка в нашому неосяжному Всесвіті.

Ще так багато попереду, що неможливо навіть коротко перелічити майбутні проблеми, які “стоять” у черзі для розв’язання. Це і нові матеріали з наперед замовленими властивостями, і кімнатно-температурна надпровідність, і робота біооб’єктів, і єдина теорія всіх взаємодій, зокрема й гравітацію тощо. Близький час, коли запрацює суперкомп’ютер (не виключено – квантовий) за потужністю, подібний до людського мозку. А це теж завдання фізики.

І останнє, що хотілося б сказати, думаючи про допитливих читачів “Світу фізики”. Треба твердо знати: фізика – наука молодих, тому починати займатися нею, цікавитись оточуючим світом краще якомога раніше. Тоді можна буде дещо зрозуміти і дізнатися, як і що думають фізики, коли все сприймається відносно легко, навчившись застосовувати фізичні закони в простих ситуаціях. “Правила гри” у фізиці, взагалі кажучи, складні, а оволодіти ними можна і треба, лише завдяки наполегливій, сумлінній і довготривалій праці, яку також ліпше починати в молодому віці, коли сил багато, а пам’ять найсвіжіша.

А тим, хто обере цей тернистий науково-пізнавальний шлях, забезпечене радісне творче життя з несподіваними інтелектуальними проривами на чудовому емоціональному підґрунті.



## ОСОБЛИВОСТІ ВОДИ ЯК МОЛЕКУЛЯРНО-АНСАМБЛЕВОЇ НАНОСТРУКТУРИ

Богдан Михайлович СТЕФАНЮК,  
професор (Росія)

### Вступ

Рідинна вода – це не хаотичний континуум молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , а впорядкована триступенева структура з чітко виявленими властивостями на кожній ступені. Найважливішу роль у цій ієрархії відіграє перша ступінь – молекулярний ансамбль (МА), утворений водневими зв'язками. Цей ансамбль визначає найтонший шар води, властивості змочування, розчинювання, густини та інших інтегральних характеристик води.

Мета запропонованої статті – розкрити на нанорівні будову ансамблю з урахуванням змін температури, переходу води від рідинного до твердого стану і навпаки, зокрема й за різних тисків, тобто показати, як при цьому змінюється будова молекулярного наноструктурного ансамблю.

### Теоретична частина

Частка розірваних водневих зв'язків (ВЗ) у воді визначається температурою і описується співвідношенням [1, 2]:

$$\delta_t = \delta_0 + \frac{d\delta}{dt}t, \quad (1)$$

де  $\delta_t$ ,  $\delta_0$  – частки розірваних ВЗ за температур  $t$  і  $0^\circ\text{C}$ ;  $\delta_0 = 0.1591$ ;  $\frac{d\delta}{dt}$  – градієнт зміни числа розірваних ВЗ зі зміною температури.

$1^\circ\text{C}$ ;  $\frac{d\delta}{dt} = 0.001017 \text{ } 1^\circ\text{C}$ ;  $t$  – температура,  $^\circ\text{C}$ .

У триступеневій моделі надмолекулярної структури води “ансамбль – колонія – мікро-

крапля” ансамбль є наноструктурним кулькоподібним утворенням, побудованим ВЗ. При цьому всередині цього утворення немає вільних валентних зв'язків (ВВЗ). Усі ВВЗ розташовані на “поверхні” утворення, тобто молекули на “поверхні” чи “оболонці” кульки мають один або два, або три ВВЗ [3].

У трьох ідеальних випадках, коли всі молекули води “оболонки” ансамблю мають один ВВЗ, надмолекулярній структурі присвоєно стан  $p = 1$ , коли два ВВЗ – стан  $p = 2$ , коли три ВВЗ – стан  $p = 3$ .

У реальних випадках в “оболонці” ансамблю можуть бути молекули з різною кількістю ВВЗ, тоді стан представляє дійсне число  $p$ :

$$1 \leq p \leq 3.$$

Отже, враховуючи, що кожен розірваний ВЗ створює два вільні зв'язки, маємо:

$$\delta_t = \frac{p}{2} \frac{n_{об}}{n_c}, \quad (2)$$

де  $n_c$  – кількість молекул  $\text{H}_2\text{O}$  в ансамблі;

$n_{об}$  – кількість молекул в його “оболонці”.

Кількість молекул в ансамблі залежить від температури (тобто частки розірваних ВЗ) і від стану молекул на “поверхні” (стану  $p$ ).

Кількість молекул в ансамблі пропорційна

$$n_c \sim \left( \frac{R_c}{r_m} \right)^3,$$

де  $R_c$  – умовний радіус ансамблю, нм;  $r_m$  – радіус молекули  $\text{H}_2\text{O}$ , нм;  $r_m = 1,38$  нм.



Кількість молекул в “оболонці” пропорційна

$$n_{об} \sim \left(\frac{R_c}{r_m}\right)^3 - \left(\frac{R_c - 2r_m}{r_m}\right)^3$$

Враховуючи це, маємо співвідношення:

$$\frac{n_{об}}{n_c} = 1 - \left(1 - \frac{2r_m}{R_c}\right)^3 \quad (3)$$

Підставивши його в (2), отримуємо:

$$\delta_r = \frac{p}{2} \left[ 1 - \left(1 - \frac{2r_m}{R_c}\right)^3 \right] \quad (4)$$

Останнє дає нам змогу обчислити умовний радіус:

$$R_c = \frac{2r_m}{1 - \sqrt[3]{1 - \frac{2\delta_r}{p}}}, \text{ нм} \quad (5)$$

і кількість молекул в ансамблі:

$$n_c = \frac{4}{12} \cdot 0,74 \frac{R_c^3}{r_m^3} = \frac{1,9733}{\left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{2\delta_r}{p}}\right)^3}, \quad (6)$$

де 4 – координаційне число льоду [4];  
12 – координаційне число упаковки кульок;  
0,74 – коефіцієнт щільності упаковки при координаційному числі 12.

Раджу читачеві самостійно обчислити параметри ансамблю для деяких температур (напр., 0; 10; 33,6; 40,2; 70; 99,9 °C), склавши таблицю (див. табл. 1).

### Критерії будови

#### молекулярного ансамблю

Будова МА має відповідати фізичним характеристикам і властивостям води як у рідинному, так і в твердому стані. З цією метою МА розглядатимемо як нанокристал, побудований із пластин шестиграних сот, що мають стійку “хвилясту” (гофровану) будову. Деякі пластини різної величини з’єднуються між собою торцевими ВВЗ, утворюючи при цьому сотові канали.

Підставою для такої моделі можемо вважати:

- трактат про сніжинки Кеплера [4];
- фігури Тиндаля [6];
- кристали Масару Емото [7];
- дослідження Лінь Фу [8], що підтвердили наявність у воді міжмолекулярних відстаней 0,28, 0,34 і 0,45 нм;
- урахування того, що вода зберігає в своїй будові відношення золотого перетину (число Фібоначчі  $\phi = 1,6180339$ ) [9], а також число  $e$  (основа натуральних логарифмів) [10].

Береться до уваги, що в рідинній воді молекулярний кут НОН переважно дорівнює 108°, а також те, що сотові канали бувають не пусті.

Таблиця 1.

Параметри молекулярного ансамблю води

| $t, ^\circ\text{C}$ | $\delta_r$<br>ф-ла (1) | $p$ | $R_c$ , нм<br>ф-ла (5) | $n_c$<br>ф-ла (6) | $n_{об}$<br>ф-ла (2) | К-сть ВВЗ<br>в ансамблі |
|---------------------|------------------------|-----|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| 0                   | 0,1591                 | 1   | 2,303                  | 1146              | 365                  | 730                     |
|                     |                        | 2   | 4,918                  | 11162             | 1776                 | 3552                    |
|                     |                        | 3   | 7,524                  | 39969             | 4239                 | 8479                    |
| 99,9                | 0,2607                 | 1   | 12,67                  | 191               | 100                  | 200                     |
|                     |                        | 2   | 28,82                  | 2320              | 605                  | 1210                    |
|                     |                        | 3   | 44,76                  | 8419              | 1463                 | 2926                    |



**Будова сотових пластин і сотових каналів**

Найменша сотова пластина зображена на рис. 1. Там також зображено взаємну орієнтацію сусідніх пластин. Зазвичай, розміщення молекул H<sub>2</sub>O у вершинах сотового шестигранника не однакове: у трьох вершинах (через одну) молекули води знаходяться на ребрах шестигранника, у решти трьох – один атом водню на ребрі, а інший – на торцевому з'єднанні ВВЗ з вершиною сусідньої пластини.

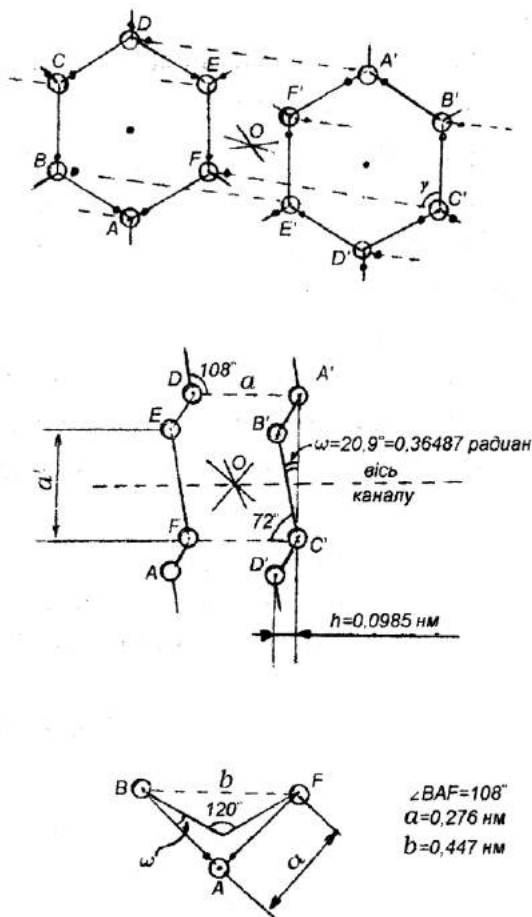


Рис. 1. Шестигранник сотової пластини при  $p = 1$

Між пластинами ансамблю існує центр симетрії  $O$ , так що пластини повернуті відносно сусідніх на  $180^\circ$ .

Віддаль між молекулами в шестиграннику дорівнює  $a = 0,276$  нм.

Віддаль  $b$  між молекулами через одну одержимо за теоремою синусів:

$$b = a \frac{\sin 108^\circ}{\sin \frac{180^\circ - 108^\circ}{2}} = a' \frac{\sin 120^\circ}{\sin \frac{180^\circ - 120^\circ}{2}},$$

де  $a'$  – проекція  $a$  на площину пластини.

Враховуючи, що

$$\sin 108^\circ = \sin 72^\circ;$$

$$\sin 120^\circ = \sin 60^\circ;$$

$$\frac{\sin 72^\circ}{\sin 36^\circ} = \Phi = 1,6180339;$$

$$\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3},$$

одержимо:

$$b = a\Phi = 0,447 \text{ нм}, \quad (7)$$

$$a' = \frac{a\Phi}{\sqrt{3}} = 0,258 \text{ нм}. \quad (8)$$

Кут “хвилястості” пластини  $\omega$  одержимо із залежності:

$$\cos \omega = \frac{a'}{a} = \frac{\Phi}{\sqrt{3}} = 0,9342,$$

$$\omega = \arccos 0,9342 = 20,9^\circ = 0,36487 \text{ рад} \quad (9)$$

Зауважимо, що

$$\frac{1}{e} = 0,36787.$$

Отже, при похибці 0,83 %, маємо:

$$\omega = \frac{1}{e}. \quad (10)$$





Висота "хвилі"  $h$  становить

$$h = a \sin \omega = 0,0985 \text{ нм}, \quad (11)$$

що дещо більше від віддалі  $O-N$ , яка дорівнює  $0,0956 \text{ нм}$  [4].

Віддаль між "хвилями" сусідніх пластин дорівнює  $a = 0,276 \text{ нм}$ .

У стінках "каналів", утворених сотами, молекули розміщені на різних віддальях (рис. 1):

$$EC' = a\Phi = 0,447 \text{ нм}, \quad (12)$$

$$FB' = a \frac{\sin \gamma}{\sin \frac{180^\circ - \gamma}{2}} =$$

$$= a \frac{\sin 72^\circ}{\sin \frac{180^\circ - 72^\circ}{2}} = 0,325 \text{ нм}. \quad (13)$$

Отже, у сотах і сотових каналах відстані між центрами молекул  $H_2O$  становлять  $0,276$ ;  $0,325$  і  $0,447 \text{ нм}$ , що відповідає експериментальним величинам, які отримав Лінг Фу [8].

Характеристики сотових пластин встановлено з урахуванням гексагональної симетрії відповідно з переліченими вище критеріями.

### Будова молекулярного ансамблю

За теорією триступеневої надмолекулярної структури води, МА об'єднуються в колонії. Їхня упаковка відповідає координаційному числу 12 і відповідно до цього коефіцієнт щільності дорівнює  $0,74$ .

Закономірно виникає запитання: чому рідина вода, що складається із льодоподібних ансамблів, важча від льоду?

Відомо, що густина води за температури  $0^\circ C$  дорівнює  $999,81 \text{ кг/м}^3$ , а льоду за тієї самої температури – лише  $916,8 \text{ кг/м}^3$ .

Враховуючи "щільну упаковку", МА повинен мати густину на  $47,37\%$  більшу від густини льоду, а саме  $1351 \text{ кг/м}^3$ .

Насправді це так і є! Нагадаємо, що між пластинами, які утворюють ансамбль, є центри симетрії  $O$  (рис. 1). Центр симетрії розташований на осі сотового каналу.

Молекули шестигранника, що формують канал, знаходяться від осі каналу на віддалі  $a' = 0,258 \text{ нм}$ .

Центри симетрії знаходяться від найближчих молекул на віддальях:

$$OD = \sqrt{\left(\frac{a-h}{2}\right)^2 + (a')^2} = 0,2728 \text{ нм}, \quad (14)$$

$$OE = \sqrt{\left(\frac{a+h}{2}\right)^2 + (a')^2} = 0,3189 \text{ нм}. \quad (15)$$

У цих центрах симетрії розташовані молекули  $H_2O$ , зв'язані між собою в  $s$ -димерний ланцюжок, тому що ВВЗ сотових молекул всередині ансамблю повністю зайняті. Отже,  $s$ -димерний ланцюжок не має ВВЗ. Вони можливі лише у молекулах на межі ансамблю.

Кількість молекул у  $s$ -димерних ланцюжках зумовлює середню густину ансамблю  $1351 \text{ кг/м}^3$ .

Як уже було сказано, пластини з'єднуються ВЗ: три зв'язки на шість молекул соти в один бік і три – у протилежний.

$S$ -димерний ланцюжок гравітаційними силами додатково "зшиває" пластини сот. Сила гравітаційної компоненти зв'язку кожної молекули  $H_2O$   $s$ -димерного ланцюжка з молекулами найближчої пластини дорівнює  $4,168 \cdot 10^{-42} \text{ Н}$ .

Отже, маємо рівняння:

$$\rho_6 = (\rho_{\text{сот}} + \rho_{s\text{-димер}})g = \rho_{МА}q. \quad (16)$$

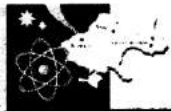
де  $\rho_6$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_{\text{сот}}$  – густина сот (нанольоду),  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_{s\text{-димер}}$  – густина  $s$ -димерного ланцюжка,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_{МА}$  – густина МА,  $\text{кг/м}^3$ ;

$q$  – коефіцієнт щільності упаковки колоній (мікрокрапель) за координаційного числа 12:  $q = 0,74$ .



За нормального (атмосферного) тиску під час плавлення льоду *s*-димерні ланцюжки молекул H<sub>2</sub>O заповнюють сотві канали і МА набуває середньої густини 1351 кг/м<sup>3</sup>. За такого ущільнення у рідині вивільнюється 26 % об'єму, який заповнюють повітря, інші гази, розчинні речовини.

У разі заморожування процес йтиме у зворотному порядку: зменшуються *q* і  $\rho_{s-дим}$ , залишається сотвий лід з густиною  $\rho_n = 916,8$  кг/м<sup>3</sup>.

Якщо заморожування виконувати за тисків 2000–6000 і більше атмосфер, то *s*-димерні ланцюжки "не встигають" повністю покинути сотві канали і ми одержуємо "важкий лід" з густиною 1140, 1170, 1230, 1280, 1310 кг/м<sup>3</sup>, який тоне у звичайній воді [6].

За кожної температури будова МА задається двома числами: кількість ВВЗ і *n<sub>c</sub>*.

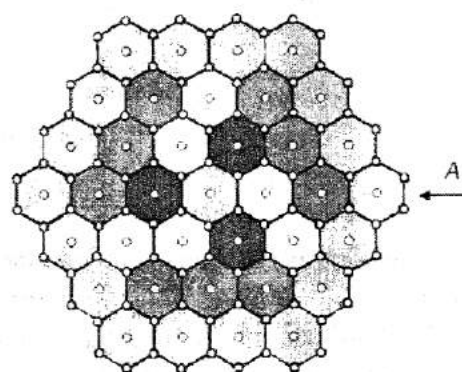
Щоб отримати брутто-форми МА розв'язуємо систему двох діофантових рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} ВВЗ &= \sum_N ВВЗ_j + (ВВЗ_f)_{\max_{пл}} + 4CK_{\max_{пл}} \\ n_c &= \sum_N n_{плj} + (S+1)(KC_j - KC_{j-1}) \end{aligned} \right\} (17)$$

де ВВЗ – кількість вільних водневих зв'язків МА; ВВЗ<sub>*j*</sub> – кількість вільних радіальних водневих зв'язків наявних сотвих пластин; (ВВЗ<sub>*f*</sub>)<sub>max пл</sub> – кількість вільних торцевих водневих зв'язків за максимальної кількості молекул сотвої пластини; CK<sub>max пл</sub> – кількість сотвих каналів МА, що дорівнює кількості сотвих каналів максимальної пластини; *S* – кількість сотвих пластин; *n<sub>плj</sub>* – кількість молекул у сотвій пластині; *KC<sub>j</sub>* – кількість сотвих каналів у *j*-ій пластині.

### Синтез брутто-форми МА

На найпростішому прикладі покажемо синтез брутто-форми МА за таких вихідних даних: температура 36,6 °С, ВВЗ = 430, *n<sub>c</sub>* = 550 ± 4. Брутто-форму починаємо будувати із найбільшої пластини, а далі приєднуємо "за ростом" менші пластини з обох боків, створюючи двобічний конус (не завжди симетричний). Результати синтезу подано у табл. 2.



Вид А

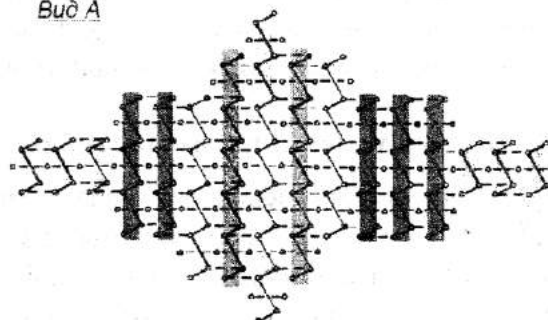


Рис. 2. Модель будови МА і брутто-форма, що отримана за умов:  
*t* = 36.6 °С, *p* = 1, *n<sub>c</sub>* = 554



Модель брутто-форм зображено на рис. 2. Для ілюстрації різноманітності брутто-форм МА зацікавлений читач може самостійно за аналогічною схемою синтезувати й інші брутто-форми, взявши ті ж параметри ВВЗ,  $n_i, t = 36.6^\circ\text{C}$  і залучаючи інші комбінації пластин.

Провівши таке моделювання, переконаємося, що форма МА та його розміри змінюються в діапазоні від (діаметр 4,129 нм, довжина 1,656 нм) до (діаметр 1,341 нм, довжина 15,456 нм), за умовного радіуса  $R_p = 1,205$  нм.

### Температурне поле брутто-форм

Під час розв'язування системи діофантових рівнянь найважчий перший крок – знайти форму з максимальною пластиною.

Відомо, що за температури  $36.6^\circ\text{C}$  теплоємність води мінімальна. Тому ми розраховали брутто-форми МА для температур води: для

$0^\circ\text{C}$  – 412 форм, для  $36.6^\circ\text{C}$  – 86 форм і для  $99.9^\circ\text{C}$  – 6 форм. Це дало змогу побудувати температурне поле форм для стану  $p = 1$  (рис. 3). Знаючи кількість молекул у МА  $n_i$  і ВВЗ для вибраної проміжної температури, визначимо максимальний номер пластини і кількість молекул у  $s$ -димерних ланцюжках. Для цього використаємо граничну лінію ABC для визначення максимальної сотової пластини і лінію DEF для визначення кількості молекул у  $s$ -димерних ланцюжках.

Наприклад, за температури  $t = 10^\circ\text{C}$ ,  $n_i = 925$ , що дає на рис. 3 лінію, паралельну до вісі абсцис, яка перетинається з лінією AB у точці K. Це вказує, що номер сотової пластини не більший 1–15 при  $n_{ni} = 180$ . При цьому на лінії DE одержимо точку L, що відповідає сумі  $\sum_S n_{ni} = 612$  і  $\sum_S n_{s-дим} = 313 \pm 3$ .

Таблиця 2.

Результат синтезу брутто-форми

| Номери пластин | $n_{ni}$ | Кількість пластин | Сума молекул | $ВВЗ_l$ | $ВВЗ_r$ | Всього ВВЗ | КС | Розрахунок $s$ -димерів |
|----------------|----------|-------------------|--------------|---------|---------|------------|----|-------------------------|
| 1–9            | 96       | 1                 | 96           | 24      | 48+48   | 24         | 37 | 2.18 = 36               |
| 1–6            | 54       | 2                 | 108          | 18      | (27+27) | 96         |    |                         |
| 1–4            | 33       | 2                 | 66           | 15      | (7+8)   | 36         | 19 | 4.9 = 36                |
| 1–2            | 18       | 5                 | 90           | 12      | (9+9)   | 30         | 10 | 6.6 = 36                |
| 1–1            | 6        | 6                 | 36           | 6       | (3+3)   | 60         | 4  | 11.3 = 33               |
|                |          |                   |              |         |         | 36         | 1  | 17.1 = 17               |
| Разом          |          | 16                | 396          |         | 37x4    | 282        |    | 158                     |
|                |          |                   | 158          |         |         | 148        |    |                         |
|                |          |                   | 554          |         |         | 430        |    |                         |

Примітки:

$ВВЗ_r$ , що в дужках, беруть участь у зв'язках між пластинами і переходять із ВВЗ у ВЗ. Розрахунок  $s$ -димерів проводимо знизу догори. 148 ВВЗ створюють  $s$ -димерні ланцюжки в 37 сотових каналах. У  $s$ -димерних ланцюжках знаходяться 158 молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , при цьому

$$\frac{n_{\text{дим}}}{n_{\text{ni}}} = \frac{158}{396} = 0.4.$$

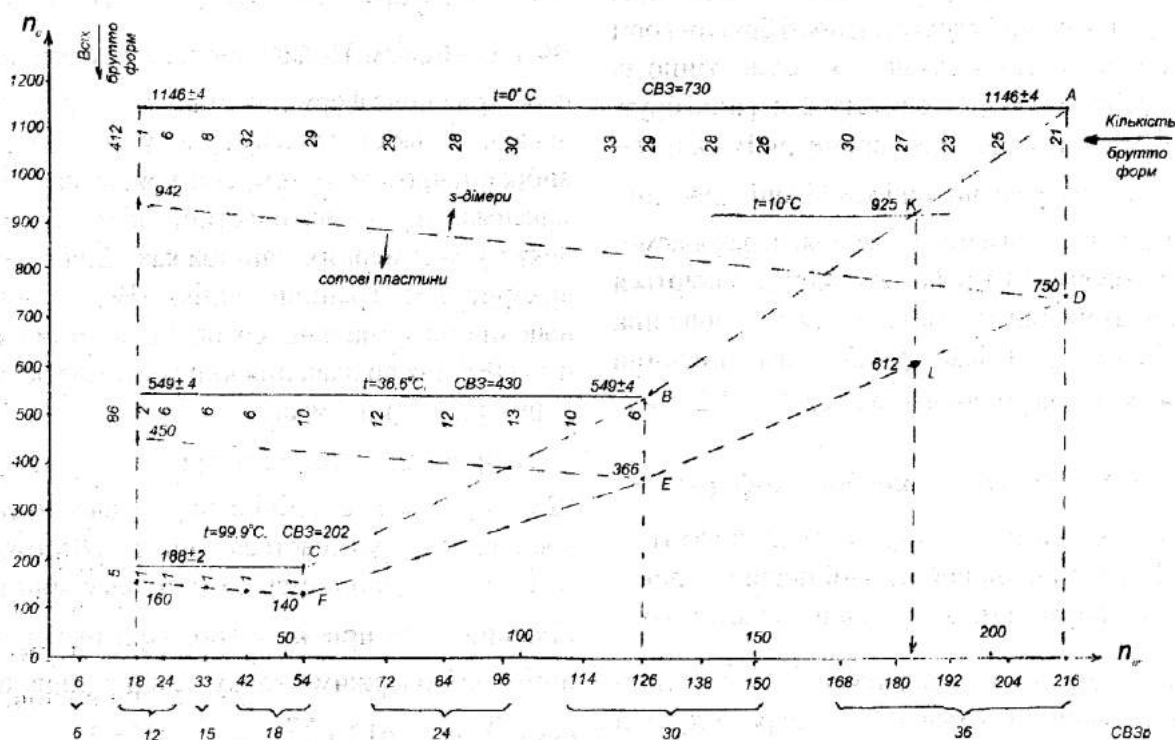


Рис. 3. Температурне поле брунто-форм МА при  $\rho = 1$

Всі інші брунто-форми для  $t = 10^\circ\text{C}$  розташовані зліва, до того ж кількість молекул у сотових пластинках зростає, тобто відношення  $\sum_S n_{s-оим} : \sum_S n_{пл}$  зменшується від величини 0.512 так, щоб у результаті середнє значення відповідало 0,474, про що мовилося вище.

Аналогічно ми побудували температурне поле брунто-форм для стану  $i = 2$ . Для цього знайдено максимальні і мінімальні (по діаметру) брунто-форми для температур  $0^\circ\text{C}$ ,  $36.6^\circ\text{C}$  і  $99.9^\circ\text{C}$ . Їхні характеристики розраховані за схемою табл. 2, відтак нанесені на температурне поле.

Для пошуку всіх брунто-форм треба створювати спеціальні комп'ютерні програми роз-

в'язання діофантових рівнянь. Такі програми мають враховувати зміни стану під впливом магнетного чи електричного поля, що на практиці значно змінює властивості води [11, 12].

Зауважимо, що реальність існування МА підтверджено рядом експериментальних робіт, зокрема нідерландських учених К. Б. Джінеша (К. В. Jinesh) і Й. Френкена (Joost Frenken) [13], а також групи вчених під керівництвом Елізи Рієда (Elise Rieda) [14].

### Висновки

1. Надмолекулярна триступенева структура води в своїй основі має молекулярні ансамблі.
2. У будові МА основну роль відіграють водневі зв'язки молекул води і гравітаційні си-



ли між сотовими пластинами і  $s$ -димерними ланцюжками, створеними тими ж водневими зв'язками.

3. Розв'язання проблем щодо будови МА насамперед зводиться до розв'язання системи двох діофантових рівнянь при заданих двох числах: кількості молекул в ансамблі та кількості вільних водневих зв'язків, що пов'язано з температурою і моделлю сотових пластин.

4. Під час розв'язання простіших задач виявлено велику різноманітність будови брутто-форм МА, що відповідає різноманітності фігур Масару Емото.

5. Різноманітність брутто-форм МА зростає під впливом магнетного, електричного, гравітаційного і біологічного полів.

### Література

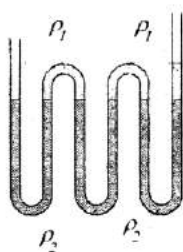
1. Стефанюк Б. М. *Структура воды и осветление иламовых вод физико-электрическим способом*// Теоретические и практические аспекты создания наукоемких технологий новых уровней эффективности для сложных горно-геологических условий. – Новокузнецк: СибГИУ, 1992. – С. 67–72.
2. Стефанюк Б. М. *Структура воды и осветление иламовых вод физико-электрическим способом*// Современная технология разработки месторождений полезных ископаемых. – Новокузнецк: СибГИУ, 1998. – С. 104–109.
3. Сенкус Вас. В., Фрянов В. Н., Стефанюк Б., Сенкус В. В. *Управление техногенными гидродинамическими процессами на угольных шахтах. Монография.* – Кемерово: ИНТ, 2010. – 250 с.
4. Синюков В. В. *Вода известная и неизвестная.* – М.: Знание, 1987. – 176 с.
5. Кеплер И. *О шестиугольных снежинках (пер. с латин.).* – М.: Наука, 1982. – 192 с.
6. Мэано Нарикадзе. *Наука о льде (пер. с япон.).* – М.: Мир, 1988. – 231 с.
7. Масару Эмото. *Послание воды. Тайные коды кристаллов льда (пер. с англ.).* – М.: София, 2006. – 96 с.
8. Из News.ru 26.02.2010. Главные новости. *Проступила структура жидкой воды.* – РИА “РосБизнесКонсалтинг”.
9. Воробьев Н. И. *Числа Фибоначчи.* – М.: Наука, 1978. – 144 с.
10. Выгодский М. Я. *Справочник по элементарной математике, изд. 19.* – М.: Наука, 1968. – 416 с.
11. Стефанюк Б. М., Власов В. А., Стефанюк А. Я. *Исследования зависимости поверхностного натяжения воды от ее структуры* // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические и социальные аспекты /Сб. трудов III Всероссийской конференции с международным участием 6–9 октября 2009 г. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2009. – С. 199–203.
12. Стефанюк Б. М., Аленичев А. В., Стефанюк А. Я. *Каталитические свойства воды и перспективы их использования*// Цветные металлы-2010/ Сб. докладов второго международного конгресса. – Красноярск: ООО “ВЕРСО”, 2010. – С. 731–734.
13. Из News.ru 07.08.2008. Главные новости. *Вода способна замерзнуть при комнатной температуре.* – РИА “РосБизнесКонсалтинг”.
14. Из News.ru 26.04.2007. Главные новости. *В напомире выявлены необычайные свойства воды.* – РИА “РосБизнесКонсалтинг”.

## УМОВИ ЗАДАЧ ІV ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Одеса, 2011)

### 8 клас

#### Задача 1.

Зігнута трубка сталого перерізу розміщена у вертикальній площині й заповнена двома рідинами, які не змішуються, з густинами  $\rho_1$  і  $\rho_2$  ( $\rho_1 < \rho_2$ ). Всі межі поділу між двома рідинами знаходяться на однаковій висоті. Верхні межі рідини  $\rho_1$  збігаються (мал. 1). Нехтуючи стисливістю рідин, знайти зміщення  $\Delta x$  рівня рідини в правому відкритому коліні, якщо тиск над рідиною в лівому коліні зростає на  $\Delta p$ .



Мал. 1.

#### Задача 2.

Бажаючи одержати фотографію зебри, фотограф сфотографував білого віслюка, приклавши до об'єктиву фотоапарату плівку з чорними смужками. Що вийшло на знімку?

#### Задача 3.

Гумова нитка прив'язана кінцями до стелі в одній точці. По одній частині нитки зі стелі починає повільно спускатися поважний масивний жук. Побудуйте графік залежності від-

стані від стелі до жука від пройденої частини нитки. Маса жука така, що відрізок цієї гумової нитки під його вагою видовжиться вдвічі. Вважайте, що гумова нитка розтягується за законом Гука, а її масою можна знехтувати. Коефіцієнт жорсткості нитки обернено пропорційний довжині нерозтягнутої нитки.

#### Задача 4.

Для обслуговування стін глибоководного басейну аквалангісти вирішили використати дерев'яну драбину завдовжки 4 м (мал. 2). Драбина під водою виявилась досить норвистою.



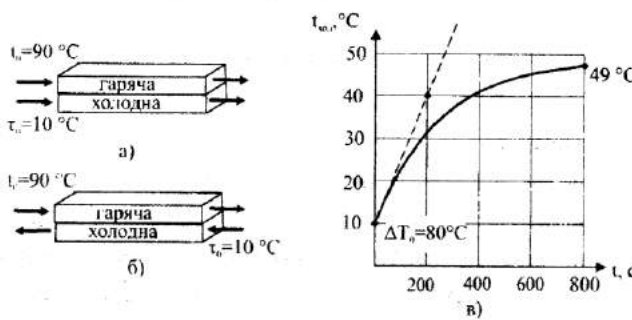
Мал. 2.

Оцініть, яку частину драбини один аквалангіст може впевнено використовувати під водою? До якої висоти він зможе обробити стіни басейну? Аквалангіст працює на відстані не меншій 30 см від стіни, обробляючи її до висоти 2 м відносно рівня підшов. Маса драбини 10 кг, густина деревини  $800 \text{ кг/м}^3$ . Сила,

яку треба було б докласти, щоб повільно опустити аквалангіста з обладнанням на дно басейну, дорівнює 100 Н. Пришвидшення вільного падіння  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Проковзування між драбиною і поверхнею басейну відсутнє.

**Задача 5.**

Є дві однакові, притиснуті одна до одної мідні труби. Через одну пропускають гарячу воду, через другу – холодну (мал. 3, а, б).



Мал. 3.

Для визначення теплообмінних властивостей такого з'єднання труб їх попередньо заповнили гарячою (90 °С) і холодною (10 °С) водою та побудували графік зміни температури холодної води з часом (мал. 3, в).

Використовуючи цей графік, розрахуйте, яку температуру холодної води на виході забезпечуватиме теплообмінник, якщо напрямки течії гарячої та холодної води в ньому:

- а) однакові (мал. 3, а);
- б) протилежні (мал. 3, б).

Довжина кожної труби 8 м, швидкості течії гарячої й холодної води 1 см/с, температура гарячої води на вході 90 °С, температура холодної води на вході 10 °С. В усіх випадках теплообмін із зовнішнім середовищем відсутній. Кількість тепла, яка передається від гарячої до холодної води за одиницю часу, прямо пропорційна різниці їхніх температур.

*Задачі запропонували:*  
**С. У. Гончаренко (1–2),**  
**О. Ю. Орлянський (3–4),**  
**Є. П. Соколов (5)**

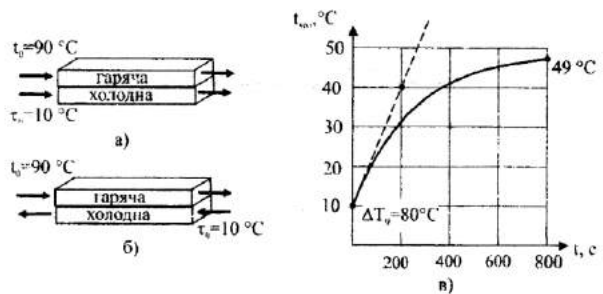
**9 клас**

**Задача 1.**

Потрібно максимально збільшити малий об'єкт за допомогою мікроскопа, що складається з двох тонких збирних лінз (об'єктива та окуляра), розташованих на одній оптичній осі. Предмет розташовують перед фокусом об'єктива. Як окуляр використовують лупу з фокусною відстанню 1 см. Дійсне зображення об'єкту в об'єктиві є предметом для окуляра. За технічними умовами об'єкт не може бути розташованим ближче, ніж 5 см від об'єктиву. Відстань між об'єктивом і окуляром не може перевищувати 30 см. Знайдіть максимальне збільшення мікроскопа та побудуйте хід променів у такій системі.

**Задача 2.**

Для використання теплоти, що міститься у відпрацьованій рідині, в теплотехніці використовують теплообмінники. Найпростіший теплообмінник – це два однакові, притиснуті один до одної мідні труби; через одну пропускають гарячу воду, через другу – холодну (мал. 1, а, б). Для визначення властивостей такого теплообмінника його труби попередньо заповнили гарячою (90 °С) і холодною (10 °С) водою і побудували графік зміни температури холодної води з часом (мал. 1, в).



Мал. 1.

Використовуючи цей графік, розрахуйте, яку температуру холодної води на виході забезпечуватиме теплообмінник, якщо напрямки течії гарячої й холодної води в ньому:

а) однакові (мал. 1, а);

б) протилежні (мал. 1, б).

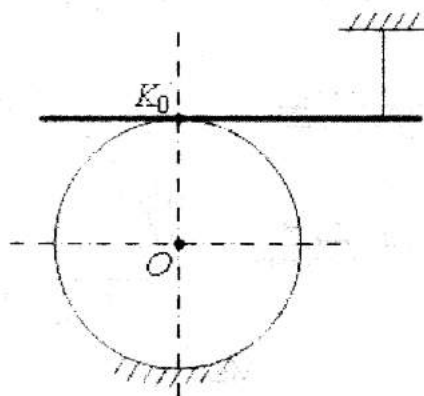
Довжина кожної труби становить 8 м, швидкості течії гарячої й холодної води – 1 см/с, температура гарячої води на вході – 90 °С, температура холодної води на вході – 10 °С. У всіх випадках втрат тепла немає. Кількість теплоти, що передається за 1 с через 1 см<sup>2</sup> площі від гарячої до холодної води, прямо пропорційна різниці їхніх температур.

### Задача 3.

На ободі невагомому колеса з нерухомою віссю радіусом  $R = 1\text{ м}$  рівномірно розміщені  $N = 201$  комірок. У момент, коли кожна з комірок проходить верхнє положення, в неї опускають з нульовою початковою швидкістю відносно землі вантаж масою  $m = 100\text{ г}$ . У момент, коли комірка проходить нижнє положення, вантаж випадає з неї. Визначте лінійну швидкість комірок, яка встановиться. Тертям у вісі та опором повітря знехтуйте.

### Задача 4.

Однорідний тонкий стрижень, що лежить на нерухомій циліндричній поверхні, утримувався в горизонтальному положенні за допомогою нитки (мал. 2).



Мал. 2

Після перерізання нитки з'ясувалося, що він став здійснювати повільно згасаючі коливання без проковзування. Початковий максимальний кут відхилення стрижня від горизонталі становив  $\alpha_{\text{max}}$ . Виразіть через  $\alpha_{\text{max}}$  кінцевий кут відхилення стрижня від горизонталі  $\alpha_k$  після його зупинки.

*Математична примітка.*

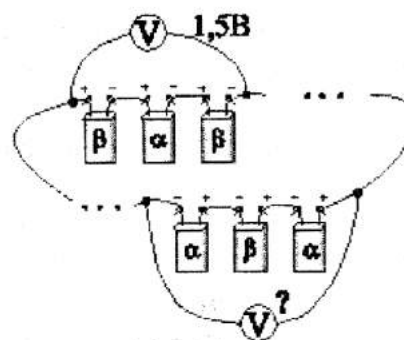
Якщо кут вимірюється в *радіанах*, то довжина  $l$  дуги кола радіуса  $R$  визначається:

$$l = R\alpha,$$

де  $\alpha$  – відповідний центральний кут.

### Задача 5.

Недосвідчений лаборант спаяв замкнуте коло з десяти батарейок "Альфа" і чотирнадцяти батарейок "Бета". Батареїки він брав у довільному порядку, але завжди з'єднував "плюс" з "мінусом".



Мал. 3.

Верхній вольтметр, під'єднаний до групи "Бета"–"Альфа"–"Бета" (мал. 3), показує напругу 1,5 В.

Яку напругу показує нижній вольтметр, під'єднаний до групи "Альфа"–"Бета"–"Альфа"?

Яку напругу покаже вольтметр, якщо його під'єднати до батарейки "Бета"?

До батарейки "Альфа"?

*Задачі запропонували:*

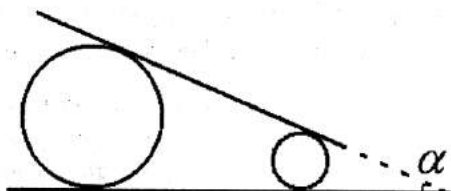
**В. П. Сохацький (1), Є. П. Соколов (2, 5),  
С. У. Гончаренко (3), А. П. Федоренко (4)**



## 10 клас

**Задача 1.**

Два циліндри котяться без проковзування по горизонтальному столу. Зверху на них лежить дошка (мал. 1).

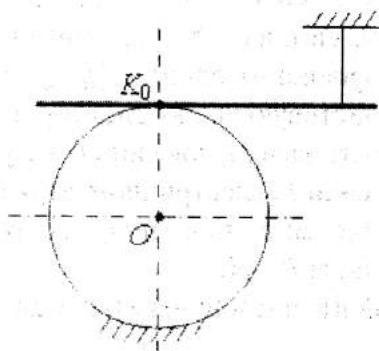


Мал. 1.

Осі циліндрів паралельні. Визначіть швидкість дошки щодо стола в момент, коли модуль відносної швидкості найближчих одна до одної точок циліндрів дорівнює  $v$ , а площина дошки утворює з площиною стола кут  $\alpha$ .

**Задача 2.**

Однорідний стрижень, що лежить на нерухомій циліндричній поверхні, утримується в горизонтальному положенні за допомогою нитки (мал. 2).



Мал. 2.

Після перерізання нитки стрижень починає перекинутись без ковзання по нерухомій циліндричній поверхні і здійснює повільно затухаючі коливання.

Знайдіть кут  $\alpha_0$ , на який вресіт-ресіт повернеться стрижень відносно початкового горизонтального положення, якщо максимальний кут повороту дорівнює  $\alpha$ .

Визначіть області значень кутів  $\alpha$  та  $\alpha_0$ , що задовольняють умову задачі.

**Задача 3.**

Відчуття об'ємності виникає внаслідок відмінності зображення того самого предмета для лівого і правого ока. На плоскому екрані одночасно створюються два зображення, одне з яких призначено для лівого ока, а друге – для правого. Для розділення зображень одягають спеціальні окуляри. Уявіть, що Ви сидите в таких окулярах перед 3D-монітором і спостерігаєте модулювання обертання Місяця навколо Землі. Земля розташована в центрі монітора, навкрузи неї в площині, перпендикулярній до екрана, яка проходить через Ваші очі, обертається двосантиметрова кулька Місяця, то виходячи за площину екрана і наближаючись до Вас, то йдучи вглиб екрана і віддаляючись. Вважаючи, що радіус орбіти Місяця 20 см, а віддаль від екрана до Ваших очей 60 см, схематично в масштабі 1:4 побудуйте зображення на плоскому екрані монітора, що формують у глядача три об'ємні рівновіддалені положення Місяця під час її руху по орбіті, починаючи з моменту, коли Місяць максимально віддалений.

Оцініть, у скільки разів максимальна швидкість плоского зображення на екрані більша від швидкості колового руху Місяця, а швидкість колового руху Місяця більше від середньої (за період обертання) швидкості плоского зображення на екрані.

Чи зміниться сприйняття руху Місяця, якщо дивитися на екран збоку? Якщо зміниться, то як саме?

Вважайте, що віддаль між зіницями дорівнює 6 см.

**Задача 4.**

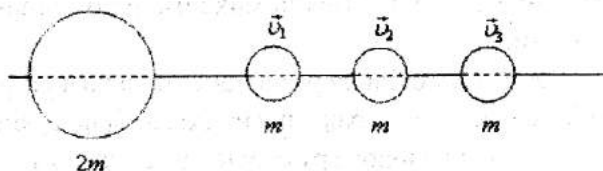
Проаналізуйте подані у таблиці дані та спробуйте знайти закономірність. Запропонуйте гіпотезу\* щодо молярної теплоємності\*\*  $C_\mu$  твердих тіл. Розрахуйте значення теплоємності, яка припадає на один атом. Вважаючи, що у твердому стані кінетична енергія кожного атома твердого тіла дорівнює потенціальній, запропонуйте гіпотезу щодо молярної теплоємності одноатомного ідеального газу, частинки якого вільно літають у наданому об'ємі і не взаємодіють між собою. Знайдіть температуру, яка встановиться у теплоізованій барокамері, заповненій 8 кг гелію за температури 0 °С, якщо в неї помістити титанову деталь масою 5 кг, нагріту до 300 °С. Внутрішня тонкостінна оболонка барокамери також виготовлена з титану масою 5 кг. Молярні маси гелію і титану відповідно 4 г/моль і 48 г/моль.

\*Гіпотеза – припущення, здогадка.

\*\*Молярна теплоємність – це теплоємність одного моля речовини, який складається з  $N_A = 6 \cdot 10^{23}$  атомів чи молекул.

**Задача 5.**

На гладенький довгий горизонтально розташований стрижень нанизано три кульки масою  $m$  кожна та одна кулька масою  $2m$  (мал. 3).



Мал. 3.

У початковий момент всі кульки ковзають вздовж стрижня ліворуч із деякими невідомими за величиною швидкостями (відомо, що  $v_1 < v_2 < v_3$ ). Після зіткнень важка кулька отримує швидкість  $v$ , а всі легкі зупиняються. Нехтуючи тертям кульок об стрижень і вважаючи всі зіткнення абсолютно пружними, визначте швидкість кожної легкої кульки до зіткнення.

Задачі запропонували:

- С. У. Гончаренко (1),
- А. П. Федоренко (2),
- О. Ю. Орлянський (3–4),
- В. Ф. Заболотний (5)

**11 клас**

**Задача 1.**

Протонний пучок, що інjektувався в ЛНС (великий адронний колайдер), мав кінетичну енергію 450 ГеВ ( $1 \text{ ГеВ} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$ ) на протон.

1. Визначіть швидкість пучка в одиницях швидкості світла  $c$  ( $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ).
2. У фізиці високих енергій використовують так звану природну систему одиниць, в якій стала Планка  $\hbar = h/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  і швидкість світла  $c$  є безрозмірними величинами і дорівнюють одиниці ( $\hbar = c = 1$ ). Використовуючи цю систему, визначіть розмірності маси  $M$ , довжини  $L$ , часу  $t$ , швидкості  $v$ , сили  $F$ , електричного заряду  $q$ , напруженості електричного поля  $E$ , індукції магнетного поля  $B$  в еВ.
3. Знайдіть числові значення 1 см, 1 с і 1 Кл у еВ.
4. У кільце ЛНС інjektуються 2 протонні пучки, що рухаються в протилежних напрям-

|                                   | Алюміній | Залізо | Мідь | Срібло | Золото |
|-----------------------------------|----------|--------|------|--------|--------|
| Молярна маса, г/моль              | 27,0     | 55,8   | 63,5 | 108    | 197    |
| Питома теплоємність, Дж/(кг·град) | 900      | 443    | 385  | 237    | 129    |

ках. Кожен пучок містить 2800 груп по 1011 протонів у кожній. Вважаючи, що протони рухаються зі швидкістю 0,999999991 швидкості світла, визначіть енергію всього пучка в Дж.

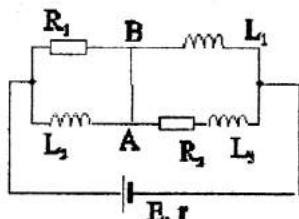
5. Знайдіть швидкість потяга масою 400 тон, кінетична енергія якого дорівнює енергії пучка.

Маса протона  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг, закон Кулона в природній системі одиниць має вигляд:

$$F = q_1 q_2 / r^2.$$

### Задача 2.

У схемі, що складається із двох опорів, трьох ідеальних котушок індуктивності й неідеального джерела струму, раптово перегоріє перемичка АВ (мал. 1).



Мал. 1.

Чому дорівнюватиме напруга на джерелі відразу після цього? ЕРС джерела дорівнює  $E = 12$  В, індуктивність третьої котушки втричі більша від індуктивності другої котушки,

$$L_3 = 3L_2.$$

### Задача 3.

Джерелом сонячної енергії є перетворення водню на гелій. Можна вважати, що в надрах Сонця з чотирьох атомів водню утворюється один атом гелію і два нейтрино, які вилітають з майже світловою швидкістю. При цьому виділяється значна кількість енергії, 2% якої забирають нейтрино. Нейтрино – дуже легкі частинки з надзвичайно великою проникністю. Велетенські товщі речовини для них є майже прозорими.

Оцініть кількість сонячних нейтрино, які зараз пронизують об'єм тіла учасника Олімпіади масою 50 кг. Уявіть тепер, що такий же учень пролітає на космічному кораблі повз Землю в напрямку її руху зі швидкістю  $v = 0,8c$ .

Оцініть кількість сонячних нейтрино, які пронизуватимуть космічного мандрівника упродовж  $t = 5$  год польоту. Відповідь надайте і з погляду земного спостерігача, і пілота космічного корабля.

Швидкість світла у вакуумі  $c = 300\,000$  км/с, маси водню і гелію дорівнюють 1,0078 а.о.м. і 4,0026 а.о.м., де 1 а.о.м. =  $1,6605 \cdot 10^{-27}$  кг.

Відомо, що поблизу земної орбіти через перпендикулярний до сонячних променів квадратний метр поверхні щосекунди проходить 1370 Дж енергії сонячного випромінювання. Відстань від Землі до Сонця  $r_0 = 1,5 \cdot 10^{11}$  м.

### Задача 4.

Для створення штучної гравітації космічна станція спроектована у вигляді циліндра радіусом  $R$ . Її привели в обертання навколо осі циліндра з такою кутовою швидкістю, щоб на внутрішній поверхні циліндра, як і на Землі, відчувалося пришвидшення вільного падіння  $g$ . Проаналізуйте залежність періоду плоских малих коливань математичного маятника довжиною  $l$  від його розташування всередині станції.

### Задача 5.

З ділянки, де магнетне поле відсутнє, циліндричний електронний пучок потрапляє в ділянку, де магнетне поле становить  $B = 3 \cdot 10^{-2}$  Тс і паралельне до осі пучка.

Визначте характер руху пучка електронів у ділянці, де є магнетне поле.

Оцініть кількісні характеристики цього руху.

Задачі запропонували:

С. Й. Вільчинський (1),

Є. П. Соколов (2),

О. Ю. Орлянський (3–4),

І. О. Анісімов (5)

## АВТОРСЬКІ ТА РОБОЧІ УМОВИ ОЛІМПІАДНИХ ЗАДАЧ

Олег Орлянський,

кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри теоретичної фізики  
Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара

Всеукраїнська олімпіада з фізики 2011 року проходила в Одесі. Перед початком теоретичного туру на ранковому обговоренні умов задач члени журі дійшли висновку, що завдання для 8-го класу є доволі складним. Було прийнято рішення спростити умови задач про жука на гумовій нитці і про драбину у глибоководному басейні. Як показали результати теоретичного туру рішення було прийняте правильне. Умови задач були змінені, і вже у спрощеному вигляді їх отримали юні олімпійці. Але завжди цікаво, особливо тим, хто розв'язував ці задачі в Одесі, яким же був початковий авторський варіант, що залишився поза грою. Отже, розв'яжіть і порівняйте.

Нижче публікуємо умову задачі та її відредагований варіант, з яким змагалися восьмикласники на Олімпіаді в Одесі, а вже далі авторський варіант умови з розв'язком.

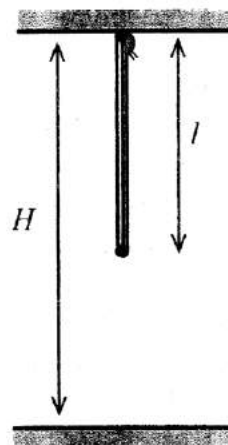
### Задача 3.

Гумова нитка прив'язана кінцями до стелі в одній точці. По одній частині нитки зі стелі починає повільно спускатися поважний масивний жук. Побудуйте графік залежності відстані від стелі до жука від пройденої частини нитки. Маса жука така, що відрізок цієї гумової нитки під його вагою видовжиться вдвічі. Вважайте, що гумова нитка розтягується за законом Гука, а її масою можна знехтувати. Коефіцієнт жорсткості нитки обернено пропорційний довжині нерозтягнутої нитки. (Ідея зміни умови належить С. Б. Григор'єву)

### Задача 3. (Авторський варіант)

Три однакові гумові нитки зв'язані кінцями і прикріплені одним вузлом до стелі. По одній з ниток зі стелі починає повільно спускатися поважний масивний жук з метою дістатися підлоги (див. рис.).

Чи вдасться йому заплановане? Допоможіть жуку розрахунками. Довжина нитки  $l = 1.5$  м, висота стелі  $H = 2.5$  м. Жук має таку масу, що відрізок однієї гумової нитки під його вагою збільшує довжину вдвічі. Вважайте, що гумові нитки розтягуються за законом Гука, їхніми масами, опором повітря знехтуйте.



**Розв'язок.**

Спочатку розтягуюватиметься тільки одна нитка, точніше та її частина, яку подолає жук (див. рис. 1).

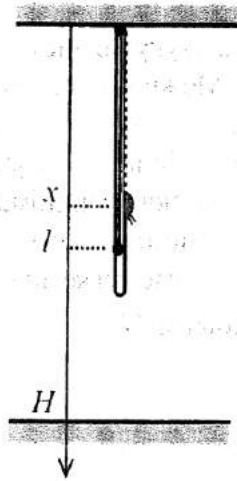


Рис. 1.

Довжина розтягнутої частини збільшуватиметься, а її жорсткість, відповідно, зменшуватись. Позначимо відстань від стелі до жука через  $x$  (координата жука), а довжину розтягнутої до  $x$  частини нитки, яку б та мала у нерозтягнутому стані, через  $y$ . Тоді видовження робочої частини нитки буде  $x - y$ , а її коефіцієнт жорсткості

$$k = \frac{l}{y} k_0,$$

де  $k_0$  – коефіцієнт жорсткості однієї нитки довжиною  $l$ .

З умови рівноваги маємо:

$$k(x - y) = mg,$$

звідси знаходимо

$$x = \left(1 + \frac{mg}{k_0 l}\right) y = 2y$$

(можна було записати відразу за умовою задачі).

Такий етап руху продовжуватиметься доти, поки  $x \leq 2l - y$ .

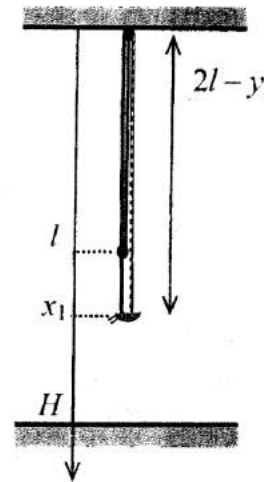


Рис. 2.

У момент  $x = 2l - y$  неробоча частина розтягнутої нитки вирівняється з паралельно з'єднаними другою і третьою нитками (рис. 2), після чого вони також почнуть розтягуватися, а жук продовжуватиме перебирати лапами, перебуваючи у найнижчій точці гумової "драбини" і опускаючись ще нижче (рис. 3).

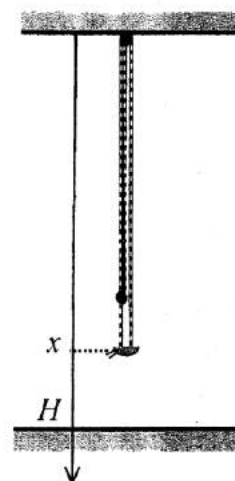


Рис. 3.

Отже, наприкінці першого етапу, перед початком розтягування другої і третьої ниток, координату жука можна знайти із системи рівнянь:

$$\begin{cases} k(x_1 - y_1) = mg \\ x_1 = 2l - y_1 \end{cases}$$

і дорівнює:

$$x_1 = 2y_1 = \frac{4}{3}l = 2 \text{ м.}$$

Під час другого етапу руху жука підтримує гума з двох боків: розтягнута на  $x - y$  частина першої гумової нитки, яку подолав жук (її довжина у нерозтягнутому стані  $y$ ) і послідовно з'єднані залишок першої нитки (довжина у нерозтягнутому стані  $l - y$ , коефіцієнт жорсткості  $\frac{l}{l - y} k_0$ ) і друга з третьою нитки (довжина у нерозтягнутому стані  $l$ , коефіцієнт жорсткості  $2k_0$ ).

Загальне видовження системи ниток ліворуч від жука буде  $x - (2l - y)$  (рис. 3).

Коефіцієнт жорсткості цієї системи (послідовне з'єднання)

$$k' = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} = \frac{2k_0 l}{3l - 2y}$$

Отже, умова рівноваги жука набуває вигляду:

$$k'(x - (2l - y)) + \frac{l}{y} k_0 (x - y) = mg,$$

звідси знаходимо

$$x = \frac{2}{l} \left( \frac{5}{3}ly - y^2 \right).$$

Оскільки на початку цього етапу руху жук спустився на 2 м, і йому ще не вистачало 0,5 м до підлоги, знайдемо максимальне значення  $x$ , для того виділимо повний квадрат:

$$x = \frac{2}{l} \left( \frac{5}{3}ly - y^2 \right) = \frac{2}{l} \left( \frac{25}{36}l^2 - \left( y - \frac{5}{6}l \right)^2 \right).$$

Найбільше значення  $x$  приймає, коли віднімаємо найменше значення повного квадрату, тобто 0, що виконується за  $y = \frac{5}{6}l$ :

$$x_{\max} = \frac{25}{18}l \approx 208,3 \text{ см.}$$

Як бачимо, жуку не вистачає майже 42 см до підлоги. Можна порекомендувати жуку зістрибнути, але це, мабуть, буде виглядати не дуже поважно. Якщо жук буде пересуватися ниткою далі, він почне підніматися, і, коли досягне вузла, опиниться у точці, координату якої  $x_2$  можна буде легко знайти, наприклад, з умови рівноваги  $3k_0(x_2 - l) = mg$ :

$$x_2 = \frac{4}{3}l = 2 \text{ м.}$$

Отже, коли жук висить, схопившись за вузол, на трьох паралельних нитках, він розтягне їх на 0,5 м і ще 0,5 м залишається до підлоги.

Згадаємо, що під час коливань пружинного маятника, відхилення від положення рівноваги однакові. Виникає ідея динамічного розв'язку задачі.

Жук спускається по одній нитці до вузла ( $x = l$ ,  $y = l/2$ ), після чого одними лапами хапається за вузол, а іншими відпускає розтягнуту нитку. Жук має ефектно опуститися на деяку відстань  $h$ , на якій на мить зупиниться, коли потенціальна енергія в полі тяжіння  $mgh$  повністю перейде у потенціальну енергію розтягнутих гумових ниток:

$$mgh = 3 \frac{k_0 h^2}{2}.$$

Звідси справді знаходимо, що

$$h = \frac{2}{3} \frac{mg}{k_0} = \frac{2}{3}l = 1 \text{ м.}$$

рівно стільки, скільки не вистачає до підлоги.

Отже в найнижчій точці траєкторії, біля самої підлоги, жук зісковзне на підлогу, маючи нульову відносно неї швидкість. Можливо це також завадить його поважності, але тепер падати з висоти вже не доведеться.

**Задача 4.**

Для обслуговування стін глибоководного басейну аквалангісти вирішили використати дерев'яну драбину завдовжки 4 м. Драбина під водою виявилась досить норовистою.

Оцініть, яку частину драбини один аквалангіст може впевнено використовувати під водою?

До якої висоти він зможе обробити стіни басейну?

Аквалангіст працює на відстані не меншій 30 см від стіни, обробляючи її при цьому до висоти 2 м відносно рівня підшов. Маса драбини 10 кг, густина деревини  $800 \text{ кг/м}^3$ . Сила, яку треба було б докласти, щоб повільно опустити аквалангіста з обладнанням на дно басейну, дорівнює 100 Н. Пришвидшення вільного падіння  $g = 10 \text{ м/с}^2$ . Проковзування між драбиною і поверхнею басейну відсутнє.

(У авторському варіанті підкреслене речення інше, й умова більше фізична, хоча й складніша: Коефіцієнт тертя між драбиною і поверхнею басейну дорівнює 0,5).

**Розв'язок.**

Рівнодійна сил тяжіння і сили Архімеда, що діють на драбину, прикладена до середини драбини, спрямована догори і дорівнює

$$F_{\text{д}} = \left( \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{д}}} - 1 \right) mg = 25 \text{ Н.}$$

Рівнодійна сил тяжіння і сили Архімеда, що діють на аквалангіста, прикладена до його центра мас, спрямована донизу і дорівнює

$$F_{\text{А}} = 100 \text{ Н.}$$

Оскільки  $F_{\text{А}} > F_{\text{д}}$ , аквалангіст може втримати на дні басейну драбину, але поведінка драбини виявляється цікавішою, ніж у повітрі, коли обидві рівнодійні сили спрямовані донизу.

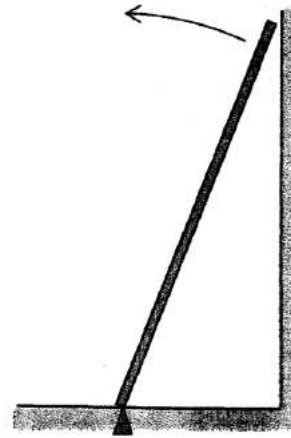


Рис. 1.

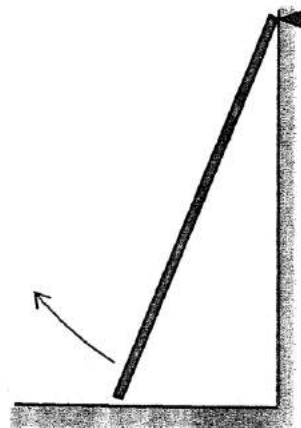


Рис. 2.

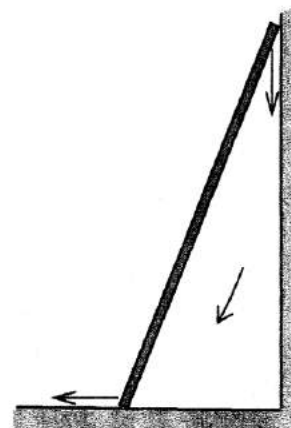


Рис. 3.

Щоб розв'язати задачу, треба отримати таке положення двох тіл, щоб виконувались умови статичної рівноваги. Під час порушення статичної рівноваги рух драбини може мати вигляд, який схематично зображено на рис. 1–4.

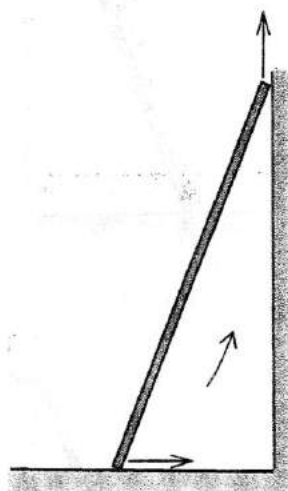


Рис. 4

Перші два випадки відповідають відриву драбини від поверхні у верхній та нижній точках дотику. Третій і четвертий випадки зображають зсув драбини (у третьому, як і в повітрі, драбина зміщується ліворуч і опускається, у четвертому – рухається у протилежний бік). Четвертий випадок не реалізується, оскільки за такого руху в горизонтальному напрямку на драбину діють дві сили, спрямовані ліворуч (сила тертя у нижній точці і сила реакції опору у верхній) тоді, як центр мас драбини рухається вправо.

Отже, залишаються три випадки. Зазначимо, що у першому і другому випадках у єдиній точці дотику (позначена на рисунку трикутником) драбина загалом може і проковзувати. Ми поки що це не аналізуватимемо, оскільки обертання драбини з додатковим проковзуванням чи без нього ніяк не сприяє роботі аквалангіста.

Розглянемо умови рівноваги, що починають порушуватись у першому випадку. Позначимо кут, який утворює драбина з вертикаллю через  $\alpha$ , а відстань вздовж драбини до лінії дії сили  $F_{\lambda}$  через  $r$  (рис. 5).

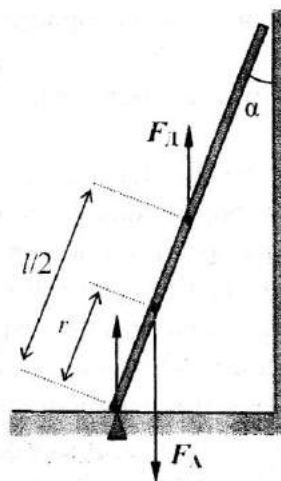


Рис. 5.

Знаходимо

$$F_{\lambda} r \sin \alpha = F_{\lambda} \frac{l}{2} \sin \alpha,$$

звідси

$$r = \frac{l F_{\lambda}}{2 F_{\lambda}} = 0,5 l.$$

Отже, якщо аквалангіст стоятиме ближче до краю драбини ніж 0,5 м, та почне разом з ним перевертатися.

Аналогічний результат отримуємо для другого випадку.

*Висновок.*

Впевнено використовувати можна лише центральну частину драбини, завдовжки 3 м, по 0,5 м рівновіддалену від країв (якщо покласти драбину на дно басейну, саме у цих межах можна ходити по ній без загрози перевернутися). Щоб піднятися якнайвище, аквалан-



гіст має стояти на відстані  $\Delta l = 0,5$  м від верхнього краю драбини. Справді, уявімо, що драбину піднімають так, щоб вона ковзала кінцями по дні та стіні басейну (як на рис. 4). Точка на драбині, яка на початку руху знаходиться ближче до стіни і вище за якусь іншу точку драбини, залишатиметься і надалі ближчою до стіни і вищою, зі зменшенням кута  $\alpha$  невпинно наближаючись до стіни і піднімаючись догори. Отже виходить, що найвищої висоти аквалангіст досягне, якщо стоятиме якнайближче до верхнього кінця (на відстані  $\Delta l = 0,5$  м від нього) за найменшої нагоди відстані до стіни ( $d_{\min} = 30$  см за умовою задачі).

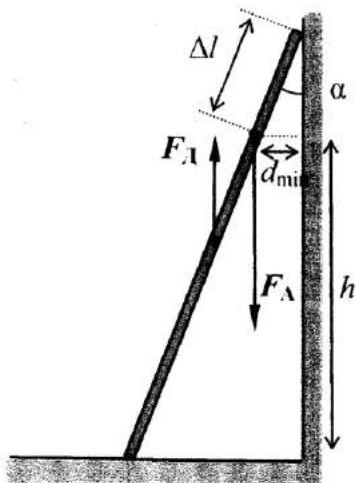


Рис. 6.

Із рис. 6 знаходимо кут  $\alpha$  і висоту цієї точки.

$$\sin \alpha = \frac{d_{\min}}{\Delta l} = \frac{3}{5},$$

$$h = (l - \Delta l) \cos \alpha = \frac{4}{5} (l - \Delta l) = 2,8 \text{ м.}$$

Але, з'ясується, цей розв'язок має недоліки. По-перше, втриматись аквалангісту в цьому положенні найшвидше не вдасться. Річ навіть не в хиткій рівновазі, а в тому, що дра-

бина, найшвидше, почне зсуватись донизу. Справді, ми розмістили аквалангіста у межовій точці, яку отримали з умови відсутності сили тиску на підлогу з боку нижнього кінця драбини (другий випадок руху, рис. 2). Та разом з реакцією опори зникає й сила тертя, яка утримує драбину, притискаючи до стінки. Верхній кінець драбини при цьому не зможе залишатися нерухомим.

Отже, або верхній кінець рухається, або не відривається нижній. Найшвидше це відстань від верхнього кінця драбини до місця розміщення аквалангіста має бути більшою від  $\Delta l$ .

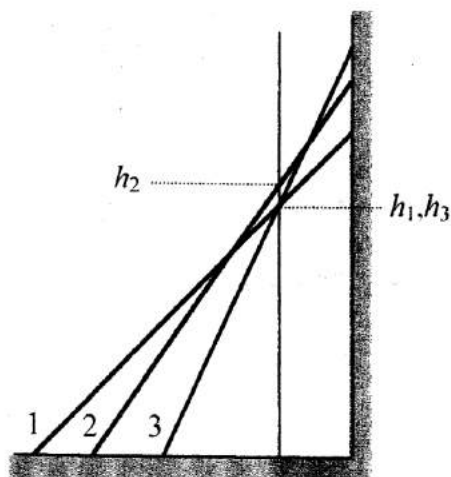


Рис. 7.

Щоб дати відповідь, наскільки більшою і якою буде максимальна висота, треба розглянути третій випадок можливого руху драбини (рис. 3) й умови, за яких може спостерігатися статична рівновага. При цьому, здається, ми неминуче втрачаємо висоту. Виявляється, це також неправильно. Запропонована логіка знаходження максимальної висоти загалом хибна. У цьому можна переконатися, якщо подумки переміщати драбину, не відриваючи її від дна і стінки, та слідкувати за переміщенням по висоті точок, що знаходяться на деякій відстані  $d$  від стінки.

Як видно з рис. 7, найбільша висота досягається у 2-му положенні драбини, яке не є крайнім. Отже, насамперед стоїть завдання знаходження такого положення драбини, за якого її точки, віддалені від стінки на фіксовану відстань  $d$ , займатимуть найвище положення.

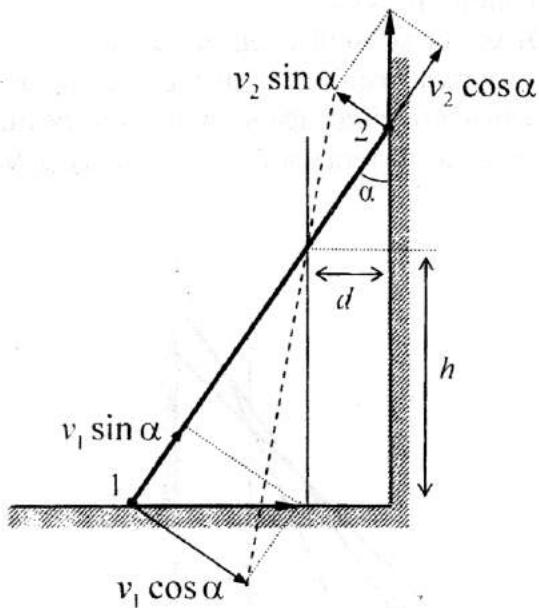


Рис. 8.

На рис. 8 зображено драбину, кінці якої рухаються вздовж підлоги ( $v_1$ ) і стінки ( $v_2$ ) якраз під час проходження цього положення. Це означає, що на відстані  $d$  від стінки точки драбини рухаються в цю мить уздовж напрямку драбини, її довжини. На рис. 8 швидкості кінців драбини спроектовані на напрям драбини (такі проєкції всіх точок драбини мають бути однаковими, оскільки її довжина не змінюється). Також зображено поперечні складові швидкостей, які "відповідають за поворот". У точки, яку ми шукаємо, поперечна складова швидкості дорівнює нулеві.

Отже, позначаючи відстань від цієї точки до верхньої точки драбини через  $x$ , маємо систему двох рівнянь

$$\begin{cases} v_1 \sin \alpha = v_2 \cos \alpha, \\ \frac{v_1 \cos \alpha}{l-x} = \frac{v_2 \sin \alpha}{x} \end{cases}$$

з якої, знаходимо

$$x = l \sin^2 \alpha,$$

або, враховуючи те, що

$$x = \frac{d}{\sin \alpha};$$

$$\sin \alpha = \sqrt[3]{\frac{d}{l}}, \quad x = \sqrt[3]{ld^2} \approx 0,71 \text{ м.}$$

Як бачимо, відстань  $x$  перевищує  $\Delta l$ . Знайдемо тепер висоту.

$$\begin{aligned} h &= l \cos \alpha - d \operatorname{ctg} \alpha = \\ &= l \cos \alpha \left( 1 - \frac{d}{l \sin \alpha} \right) = \end{aligned}$$

$$= l \sqrt{1 - \left(\frac{d}{l}\right)^2} \left( 1 - \left(\frac{d}{l}\right)^{\frac{2}{3}} \right) = l \left( 1 - \left(\frac{d}{l}\right)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}}.$$

З формули маємо, що чим менше  $d$ , тим більше  $h$ . Тому підставимо  $d = d_{\min} = 30$  см і отримаємо  $h \approx 2,98$  м. Це на 18 см вище, ніж у першому розв'язку. До того ж зазначимо, що більша відстань від краю драбини забезпечує надійніше положення аквалангіста. Залишилося перевірити, чи не буде проковзувати драбина донизу.

Як відомо, сили тертя спокою не перевищують максимального значення  $F = \mu N$ .

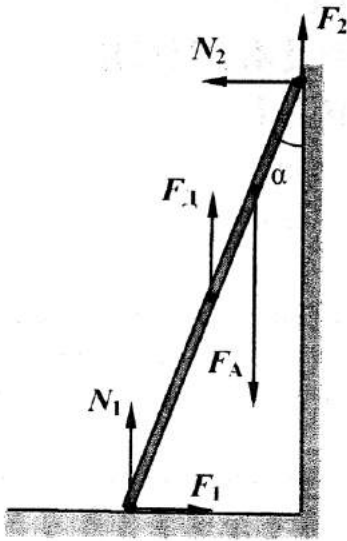


Рис. 9.

Отже, якщо драбина не рухається, сили тертя у нижній і верхній точках, що діють на драбину (рис. 9), задовольнятимуть нерівностям  $F_1 \leq \mu N_1$  і  $F_2 \leq \mu N_2$ .

З урахуванням цього запишемо умови статичної рівноваги (баланси сил по горизонталі, вертикалі і моментів сил відносно верхньої точки).

$$\begin{cases} F_1 \leq \mu N_1, & F_2 \leq \mu N_2, \\ F_1 = N_2, \\ N_1 + F_{\text{Л}} + F_2 = F_{\text{А}}, \\ F_{\text{А}} x \sin \alpha + F_1 l \cos \alpha = F_{\text{Л}} \frac{l}{2} \sin \alpha + N_1 l \sin \alpha. \end{cases}$$

Спростивши, отримуємо дві нерівності, які відображають відсутність проковзування у нижній і верхній точках:

$$\begin{cases} N_2 (1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha) \leq \mu \left( \frac{x}{l} F_{\text{А}} - \frac{1}{2} F_{\text{Л}} \right), \\ N_2 (\mu + \operatorname{ctg} \alpha) \left( 1 - \frac{x}{l} \right) F_{\text{А}} \geq \frac{1}{2} F_{\text{Л}}. \end{cases}$$

Для нашого випадку перша нерівність не дає обмежень на  $N_2$ , оскільки  $1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha < 0$ , а  $\left( \frac{x}{l} F_{\text{А}} - \frac{1}{2} F_{\text{Л}} \right) > 0$ . З другої нерівності виходить, що  $N_2 > 26,3 \text{ Н}$  – цілком вірогідний результат.

Отже, драбина перебуватиме у статичній рівновазі.

Якщо ж у систему нерівностей підставити дані з першого розв'язку

$$x = \Delta l = 0,5 \text{ м},$$

$$\sin \alpha = \frac{d_{\min}}{\Delta l} = \frac{3}{5},$$

тоді вже з першої нерівності отримуємо  $N_2 \leq 0$ , що можливо тільки за  $N_2 = 0$ , а це суперечить другій нерівності  $N_2 > 40,9 \text{ Н}$ .

Як і очікувалось, перший розв'язок не забезпечує рівноваги.

Остаточно маємо, що аквалангіст зможе обробити стінки до висоти

$$H = h + 2 \text{ м} \approx 4,98 \text{ м},$$

якщо, звісно, не враховувати відстані між шаблонами драбини.

Як бачимо, авторські варіанти задач значно складніші від тих, які були запропоновані школярам 8-х класів на Олімпіаді. Їхній розв'язок вимагає досить кропіткого аналізу і влєвнених знань, що притаманніше учням старших класів, хоча й восьмикласники з піднятими фізичними питаннями вже мали бути ознайомлені. Без сумніву вранішнє редагування умов задач членами журі на Олімпіаді є потрібним.

Але ж Олімпіади проходять, а задачі залишаються. Вони залишаються як навчальний і тренувальний майданчик для тих, хто прагне більшого.



## НОБЕЛІВСЬКІ ПРЕМІЇ ЗА ВІДКРИТТЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ НАДПРОВІДНОСТІ

**Галина Шопа,**

*Львівський національний університет  
імені Івана Франка*

*Минуло сто років від часу дивовижного відкриття надпровідності. Дивовижного – адже впродовж минулого сторіччя величезна кількість теоретиків і експериментаторів різних країн світу досліджували це явище. Відкривали нові можливості, отримували престижні премії, ставили нові завдання...*

*І видасться, що й у XXI сторіччі фізики успішно працюватимуть над цією проблемою та зроблять ще чимало нових відкриттів.*

*У березні 2011 року відбулася XXII Наукова сесія НТШ “Явище надпровідності: сто років з часу епохального відкриття у фізиці”. З доповідями виступили член-кореспондент НАН України Ігор Стасюк, професори Іван Вакарчук, Анатолій Свідзиський, Ярослав Довгий, Юрій Головач та інші.*

### 1911

Нідерландський фізик Гейке Камерлінг-Оннес (Heike Kamerlingh-Onnes, 1853–1926), який керував знаменитою Лейденською лабораторією, 1911 року зробив дивовижне відкриття. Він досліджував властивості твердих тіл за низьких температур і придумав спосіб одержання рідкого гелію у середовищі з наднизькою температурою, лише на декілька градусів вищої від абсолютного нуля.



*Гейке Камерлінг-Оннес*

Охолоджуючи ртуть, Камерлінг-Оннес помітив, що її електричний опір став дорівнювати нулеві! Це явище учений назвав надпровідністю. Хоча теоретично його пояснити тоді не змогли, було очевидно наскільки воно важливе, адже електрика тоді все більше входила у повсякденне життя.

### 1913

**Гейке Камерлінга-Оннеса** нагородили Нобелівською премією з фізики “за дослідження властивостей речовини за низьких температур, що зумовили одержання рідкого гелію”.

### 1931

У Лейденській лабораторії упродовж багатьох років працювали видатні фізики Ван дер Йоганнес де Гааз (Wander Johannes de Haas, 1878–1960) і Віллем Гендрік Кеєзом (Willem Hendrik Keesom, 1876–1956), які також безпосередньо причетні до відкриття надпровідності у металах з домішками.

**1933**

Німецькі фізики Валтер Мейснер (Walther Meissner, 1882–1974) і Роберт Оксенфельд (Robert Ochsenfeld, 1901–1993) відкрили надзвичайно характерне для надпровідників явище. З'ясувалося, що матеріали у надпровідному стані стають ідеальними діаманетиками. Це означає, що у них не може проникати магнетне поле (так званий ефект Мейснера).

**1935**

Німецький фізик Фріц Лондон (Fritz London, 1900–1954) разом із братом Гейнцом (Heinz London, 1907–1970) висунули припущення, що надпровідність зумовлена певним квантовим ефектом, який виявляється у всьому об'ємі тіла в макроскопічному масштабі. Це була перша спроба теоретично пояснити поведінку надпровідників у магнетному полі. Брати записали рівняння електродинаміки надпровідників і показали, що діаманетизм і є фундаментальною прикметою надпровідного стану. Теорія Лондонів дала пояснення ефекту Мейснера.

**1950**

Видатні радянські фізики Лев Ландау (Lev Landau, 1908–1968) разом із Віталієм Гінзбургом (Vitaly Ginzburg, 1916–2009) 1950 року створили феноменологічну теорію надпровідності (теорія Гінзбурга-Ландау).

**1957**

Мікроскопічну теорію надпровідності довелося чекати довгих 50 років. Цю теорію створили фізики Джон Бардін (John Bardeen, 1908–1991), Леон Купер (Leon Cooper, 1930 р. н.) і Джон Шріффер (Robert Schrieffer, 1931 р. н.). За цією теорією електрони у надпровіднику ведуть себе як сукупність так званих “куперівських пар”, виникнення яких зумовлено взаємодією електронів з коливаннями кристалічної ґратки. Електронна система куперівських



Лев Ландау

пар рухається крізь кристалічну ґратку металу, “не помічаючи” її, а, отже, не втрачаючи енергію.

**1962**

*Лева Ландау* нагородили Нобелівською премією з фізики “за фундаментальні теорії конденсованої матерії, зокрема рідкого гелію”.

**1962**

Англійський фізик-теоретик Брайан Девід Джозефсон (Brian David Josephson, 1940 р. н.), будучи ще аспірантом у Кембриджі, 1962 року відкрив явища, які названо його іменем.

Незадовго до цього А. Джайєвер виявив: якщо електричний контакт виготовлено з надпровідного матеріалу й нормального металу з дуже тонким прошарком ізолятора, що розділяє два провідники, то його електричні властивості дають змогу одержати докладнішу інформацію про надпровідник.

Брайан Джозефсон теоретично розрахував, як поводитиметься аналогічний контакт між двома надпровідниками. Він з'ясував, що струм може протікати крізь ізолятор, якщо відсутня різниця потенціалів між двома провідниками (стаціонарний ефект Джозефсона).

Це був несподіваний результат, який не узгоджувався з класичними фізичними моделями. Б. Джозефсон також завважив: якщо прикладати до контакту різницю потенціалів, крізь нього йтиме осцилюючий струм з час-



Джон Бардін

тотою, що залежатиме від величини прикладеної напруги (нестационарний ефект Джозефсона). Обидва ефекти дуже чутливі до магнетного поля в ділянці контакту.

Ці явища незабаром підтвердили експериментально, вони повністю узгоджувались із теорією Джозефсона.

1972

**Джона Бардіна, Леона Купера та Роберта Шріффера** нагородили Нобелівською премією з фізики "за створення теорії надпровідності, яку зазвичай називають БКШ-теорією".

1973

**Брайана Джозефсона** нагородили Нобелівською премією з фізики "за теоретичне передбачення властивостей струму, що проходить крізь тунельний бар'єр, зокрема явищ, відомих нині як ефект Джозефсона".



Леон Купер



Роберт Шріффер

1986

Німецький фізик Георг Йоганнес Беднорц (Georg Johannes Bednorz, 1950 р. н.) і швейцарський фізик Карл Александер Мюллер (Karl Alexander Müller, 1927 р. н.), які працювали у цюрихському філіалі фірми IBM, 1986 року неочікувано виявили надпровідність у деяких керамічних матеріалах за температури на 35 градусів вищої від абсолютного нуля. Вони досліджували високотемпературні надпровідники, які є надпровідниками II роду.

Їхнє відкриття ще й досі супроводжується величезною кількістю публікацій із тематики високотемпературної надпровідності. Конгрес США навіть присвятив йому спеціальне засідання. Очікувалось, що вдасться отримати надпровідники за кімнатної температури. До того ж більшість експертів були переконані, що це відкриття стимулюватиме переворот у техніці, порівнянний з тим, що настав за винаходом транзистора. Однак їхні очікування не цілком оправдалися. З'ясувалось, що ті речовини, у яких була зафіксована високотемпературна надпровідність, мають великі технологічні проблеми.

1987

**Георга Йоганнеса Беднорца та Карла Александра Мюллера** нагородили Нобелівською премією з фізики "за відкриття в галузі надпровідності керамічних матеріалів".



*Георг Йоганнес Беднорц*

**1987**

П. Чу (Paul Ching-wu Chu, 1941 р. н.) з групою дослідників із Гюстонського університету та М. Ву (Maw-Kuen Wu) з групою з університету Алабами (США) першими досягнули температури охолоджених атомів до 77 К. Це добре узгоджувалось з теоретичними уявленнями про найнижчу температуру, яку можна досягти доплерівським охолодженням атомів нагрію. Вже в перших експериментах з'ясувався вплив сили тяжіння на охолоджені атоми. Під дією цієї сили вони вже за секунду випадали із точки перетину світлових пучків. Щоб стабільно утримувати охолоджені атоми, потрібні були досконаліші методи. Ці методи були створені 1987 року (вони отримали назву метод магнето-оптичної пастки).

Метод полягає в тому, що поряд з шістьма лазерними променями, як у попередніх експериментах, науковці застосували дві магнетні котушки, які створили малоградієнтне магнетне поле, з мінімумом індукції на ділянці перетину лазерних променів. Магнетне поле, діючи на енергетичні рівні атома, розщеплює їх (ефект Зеемана) і зумовлює силу, спрямовану в точку перетину променів, яка переважає силу земного тяжіння. Завдяки цим вдосконаленням науковці локалізували в точці перетину лазерних променів охолоджені атоми та отримали змогу їх вивчати.

**2003**

*Віталія Гінзбурга, Олексія Абрикосова* (Alexei A. Abrikosov, 1928 р. н.) та *Ентоні Леггетта* (Anthony Leggett, 1938 р. н.) нагородили Нобелівською премією з фізики “за вагомий внесок у пояснення двох феноменів квантової фізики надпровідності та надплінності”.



*Карл Александер Мюллер*

Існуюча теорія надпровідності поширюється лише на так звані “низькотемпературні надпровідники”, природу, яку відкрили Г. Беднорц і К. Мюллер. ВТН теоретикам пояснити не вдалося.

Надпровідники I роду – це чисті метали. Вони характеризуються також наявністю ефекта Мейснера – здатністю “не пускати до себе” зовнішнє магнетне поле (звичайно, якщо поле не перевищує деякого критичного значення, після чого надпровідність руйнується і зразок переходить у нормальний стан).

В. Гінзбург і Л. Ландау ввели для опису надпровідного конденсату параметр порядку, що дало змогу пояснити ефект Мейснера.

Якщо цей параметр менший від 0,71, то реалізується класичний надпровідник I роду (наприклад, у ртуті він дорівнює 0,16, у чистих металів – близький до цього), під час охолодження намагнетченого зразка з такого надпровідника поле різко виштовхується, коли температура нижча від критичної, тобто зразок переходить у надпровідний стан.



Однак згодом були відкриті надпровідники II роду, в які зовнішнє магнетне поле може входити хоча б частково. Це сплави і сполуки металів, зокрема, з міддю і неметалами. Такі надпровідники зберігають надпровідність навіть у дуже сильних магнетних полях. Їхні властивості не пояснюються теорією БКШ. Олексій Абрикосов математично показав, як можна описати поведінку провідників II роду.

Англійський фізик Ентоні Леггет пояснив, як взаємодіють один з одним і розміщуються у надтекучій рідині атоми речовини.

Ці відкриття і теорії, за які 2003 року науковці одержали Нобелівські премії, були зроблені дуже давно. В. Гінзбург і О. Абрикосов розробили свої теорії ще в 1950-ті роки, праці Е. Леггета відносяться до 1970-х. Нині максимальна температура надпровідного переходу (за умов високого тиску) становить 165 К.

Науковою сенсацією стало відкриття японського фізика Гідео Госоно (Hideo Hosono) з Токійського інституту технологій. Йому вдалося виявити принципово новий вид надпровідних матеріалів, до складу яких входило залізо.

Відкриття Госоно було значною мірою випадковим. Завданням Госоно було синтезувати прозорий напівпровідник, тому він почав експериментувати зі сполуками різних хемічних елементів: залізом, миш'яком, киснем і рідкоземельним металом лантаном. Бажаючи збільшити електропровідність отриманої речовини, частину атомів кисню він замінив атомами фтору. В результаті виявив повне зникнення електричного опору зразків за температури 26 К.

За декілька тижнів експерименти Госоно відтворили у Пекінському інституті фізики, працівники якого замінили атоми лантана атомами церію і довели температуру надпровідного переходу до 41 К. Розвиваючи досягнутий успіх, китайські фізики продовжують просуватися догори по шкалі температур.

Сяньхунь Чень із Китайського університету науки і технології замінив атоми лантана на атоми самарію і в результаті добився підвищення температури надпровідного переходу на два градуси. Тоді він знову замінив лантан – на неодим і празеодим, і температура надпровідного переходу знову виросла – до 50 К.

Невдовзі температуру надпровідного переходу вдалося збільшити до 55 К. Цей результат отримала в тому ж Інституті фізики в Пекіні дослідницька група під керівництвом Жонга Ксіан Жао.

У травні 2008 року дослідники з Флоридського державного університету зазначили в своїй публікації, що надпровідність у матеріалах такого класу починає руйнуватися лише за дуже великих значень магнетних полів (порядку 45 Тесла). З цієї причини “залізні” надпровідники можуть стати незамінними, коли мова йтиме про виготовлення потужних електромагнетів.

Китайські фізики вже виготовили перші експериментальні зразки дротів із надпровідних матеріалів на основі арсеніду заліза і лантана.

Опубліковані в березні 2009 року нові експериментальні результати групи Госоно ще дивовижніші. З'ясувалось, що деякі сплави стають надпровідниками внаслідок поглинання ними водяної пари, яка є в повітрі.

За два десятиріччя від часу відкриття Беднорца і Мюллера вивчення надпровідності знову поставило перед фізиками запитання, відповіді на які знайти дуже не просто.

Ці дослідження можливо згодом також привернуть увагу Нобелівського комітету.

Майже за сто років після історичного відкриття Камерлінга-Оннеса перед фізиками знову стоїть амбітне завдання, і сподіваємось, що його розв'язання не доведеться чекати декілька десятиріч...





## ПАМ'ЯТЬ ПРО АНДРІЯ САХАРОВА

*“У нього – чудова якість. До будь-якого явища він підходить заново, навіть якщо його було двадцять разів досліджено, і природа його двадцять разів встановлена. Сахаров розглядає все так, ніби перед ним був чистий аркуш паперу, і, завдяки цьому, робить дивовижні відкриття”.*

**Ігор Тамм,**  
*Нобелівський лауреат з фізики*

У травні 2011 року минуло 90 років від дня народження видатному фізику-теоретику, правозахиснику, великому моральному авторитету людства, “батькові радянської водневої бомби”, лауреатові Нобелівської премії миру Андрієві Дмитровичу Сахарові.



У Москві 20–21 травня 2011 року відбулася Міжнародна конференція “Андрій Сахаров: тривога і надія 2011. 90 років від дня народження А. Д. Сахарова”

Андрій Дмитрович Сахаров народився 21 травня 1921 року в Москві в інтелігентній родині. Його батько був викладачем фізики, автором підручників і науково-популярних книжок. Дитинство хлопця пройшло у великій комунальній квартирі. Його привчили до праці, привили любов до літератури і науки. На виховання Андрія великий вплив мала його сім'я, перші роки навчання хлопця проходили вдома.

Закінчивши школу 1938 року, А. Сахаров вступив на фізичний факультет Московського університету, який успішно закінчив уже під час війни (1942) в евакуації, в Ашгабаді.

У 1942–1945 роках він працював на великому військовому заводі на Волзі.

А. Сахаров 1945 року вступив до аспірантури Фізичного інституту АН СРСР ім. Лебедева. Його науковим керівником був видатний фізик-теоретик, академік, лауреат Нобелівської премії з фізики Ігор Євгенійович Тамм.



Від 1948 року і впродовж двадцяти років науковець працював над створенням термоядерної зброї. А. Сахаров разом з І. Таммом були ініціаторами робіт з дослідження керованої термоядерної реакції. Вони запропонували принцип магнетної термоізоляції плазми.

Андрія Сахарова 1953 року було обрано академіком Академії наук СРСР.

Із 1950-х років учений почав виступати за припинення випробування ядерної зброї та її скорочення. У нього виник конфлікт із Хрущовим. У 1967 році він брав участь в Комітеті із захисту Байкала. Із 1968 року почав виступати відкрито. З'явилася його стаття "Роздуми про прогрес, світове співіснування і інтелектуальної свободи".

Відтоді захист прав людини стали найважливішим у діяльності ученого. Коли його статтю було опубліковано за кордоном, Сахарова усунули від секретних робіт.

Андрія Сахарова 1975 року нагородили Нобелівською премією миру. Поїхати на церемонію вручення премії йому не дозволили. Премію отримала його дружина Олена Боннер, яка і виголосила його Нобелівську лекцію.

У січні 1980 року А. Сахарова позбавили усіх державних нагород СРСР (ордена Леніна, звання тричі Героя Соціалістичної Праці, лауреата Ленінської і Державної премій) і вислали до Горького (нині Нижній Новгород, Росія), де повністю ізолювали, він знаходився цілодобово під пильним наглядом міліції.

Лише в грудні 1986 року А. Сахарову дозволили повернутися до Москви. Йому так і не повернули нагороди СРСР.

У лютому 1987 року А. Сахаров виступав на міжнародному форумі "За без'ядерний світ, за виживання людства", 1988 року його обрали почесним головою Товариства "Меморіал", 1989 року він став народним депутатом Верховної Ради СРСР.

Його наукові зацікавлення – елементарні частинки, гравітація і космологія.

Андрій Сахаров був іноземним членом Академії наук США, Франції, Італії, Нідерландів, Норвегії, почесним доктором багатьох університетів світу.

Помер учений 14 грудня 1989 року в Москві, після напруженого дня роботи на З'їзді народних депутатів.

Видатний російський фізик Віталій Гінзбург сказав про Андрія Сахарова так:

"Мені як фізику зрозуміло, що він володів винятковим науковим талантом і оригінальністю. Яків Зельдович, як ви знаєте, сам був видатним фізиком, він мені так казав: "Ось інших фізиків я можу зрозуміти і порівняти. А Андрій Дмитрович – це щось інше, щось особливе". Я також це відчуваю, та так склалось життя, що Сахаров не зміг повністю посвятити себе чистій науці. Причини відомі..."

Пам'ять про видатну людину живе й нині в назвах вулиць, площ, установ, тощо...

У Москві є проспект Академіка Сахарова, працює музей і громадський центр його імені.

У Нижньому Новгороді є музей Сахарова – квартира на першому поверсі 12-типоверхового будинку, в якому А. Сахаров мешкав сім років під час заслання. Від 1992 року у цьому місті проводять Міжнародний фестиваль мистецтв імені Сахарова.

У Санкт-Петербурзі (Росія) є площа Сахарова, де стоїть пам'ятник ученому, парк імені Академіка Сахарова, площа Сахарова є в Барнаулі.

У Білорусі іменем Сахарова названо Міжнародний державний екологічний університет.

У Єревані стоїть Сахарову пам'ятник. Його іменем названо також середню школу № 69.

У Вільнюсі (Литва) є площа імені Андрія Сахарова (лит. Andrejaus Sacharovo aikste).

У Франції у м. Ламберсарі є Алея Сахарова, на якій розташовано ліцей імені іншого великого фізика – Жана Перрена.



У Шверині (Німеччина) є вулиця Андрія Сахарова (нім. Andrej-Sacharow-Strasse), Нюрнберзі є площа імені Андрія Сахарова (нім. Andrej-Sacharow-Platz).

Ще 1984 року в Нью-Йорку перехресток 67-ої вулиці та 3-ої авеню назвали “Кут Сахарова-Боннер”, а у Вашингтоні – площу, де було розміщено радянське посольство, перейменували на “Площу Сахарова” (англ. Sakharov Plaza) як знак протесту американської громадськості проти утримання Андрія Сахарова та Олени Боннер у горьківському засланні.

На виїзді з Єрусалиму розміщено “Сади Сахарова”, його іменем названі вулиці в деяких містах Ізраїля.

Вулиця Сахарова є у Ризі, Дубні, Челябінську, Казані, Сарові, Львові, Хайфі, Одесі, Сухумі, Івано-Франківську, Коломиї.

Іменем Андрія Дмитровича Сахарова 1979 року названо астероїд.

Європарламент 1988 року заснував премію “За свободу думки” імені Андрія Сахарова, якою щорічно нагороджують за “досягнення у справі захисту прав людини і його основних свобод, а також за повагу міжнародного законодавства і розвиток демократії”.

У 1991 році випущено марку, присвячено Андрію Сахарову.

Андрій Сахаров велике значення надавав науці.

У лекції “Наука і свобода”, яку він виголосив на щорічному конгресі Французького фізичного товариства в Ліоні 27 вересня 1989 року, А. Сахаров сказав:

“За десять років закінчиться двадцате сторіччя... Це було сторіччя двох світових війн і багатьох так званих “малих війн”, які забрали багато життів. Це було сторіччя багатьох спалахів небаченого в історії геноциду...”

І все ж, коли ми думаємо про двадцате сторіччя, є одна характеристика, яка для мене видається беззаперечною і надзвичайно важливою: ХХ сторіччя – це сторіччя науки, її величезного стрибка вперед...”

У своїх спогадах (1989) А. Сахаров писав: “...відчуття потужного потоку життя, яке почалося до нас і буде продовжуватися після нас – це диво науки. Хоча я й не вірю у швидке створення (або створення загалом) загальної теорії, та я бачу величезні, фантастичні досягнення упродовж навіть мого життя та очікую, що цей потік невичерпний, та буде поширюватися і множитися...”

## 10 найкращих університетів світу

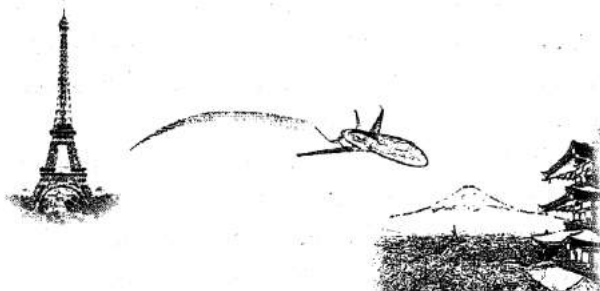
За рейтингом *QS World University Rankings*, який щорічно складає компанія *Quacquarelly Symonds (QS)*, десять найкращих університетів світу 2011 року є:

1. Кембридж (Британія),
2. Гарвард (США),
3. Технологічний інститут у Массачусетсі (США),
3. Йель (США),
4. Оксфорд (Британія),
5. Імперський коледж у Лондоні (Британія),
6. Університетський коледж у Лондоні (Британія),
7. Чиказький університет (США),
8. Пенсильванський університет (США),
9. Колумбійський університет (США).



## Ракетопланом – з Парижа до Токіо за три години

Одна з відомих корпорацій у Європі (Європейський аерокосмічний і оборонний концерн EADS) заявив, що в середині XXI сторіччя стане реальністю перелітати від Парижа до Токіо за неповних три години. Вони розробили літак майбутнього – ракетоплан. Його проєкт був презентований в аеропорту Ле Бурже (Le Bourget) під час роботи Паризького міжнародного авіасалону.



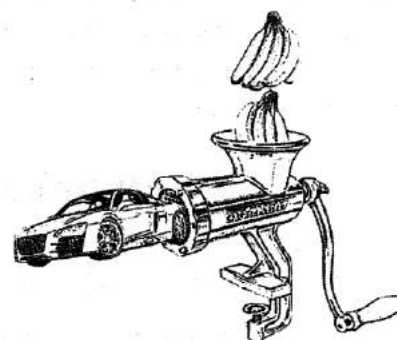
Розробники стверджують, що такий літак володітиме не лише надшвидкістю, а й принеситимуть мінімальну шкоду довкіллю, оскільки він працюватиме на біопаливі з водорослів, якими заправлятимуть стандартні двигуни, що використовуються на нинішніх літаках, а коли такий літак підніметься догори, вмикатимуться уже ракетні двигуни. За один рейс обіцяють перевозити від п'ятдесяти до ста пасажирів.

Прості двигуни планують заправляти сумішшю водорослів, а ракетні – живитимуться сумішшю водню і кисню. На відміну від сучасних пасажирських аеробусів, які літають на висотах десяти кілометрів, майбутні літаки прогнозують літатимуть на висотах тридцяти кілометрів.

На виставці в Ле Бурже буде продемонстровано модель такого літака. Конструктори сподіваються, що прототип літака буде побудований до 2020 року, а почнуть експлуатувати його 2050 року.

## Банани та ананаси – перспективні матеріали для автомобілів

Це відкриття може повністю змінити виробництво в автомобільній промисловості. Бразилійські винахідники, беручи приклад з японців, які використовують морську капусту та інші водорослі, хочуть використовувати інші матеріали – банани та ананаси. Саме ці тропічні фрукти можуть допомогти у виготовленні автомобільних матеріалів. За допомогою продуктів рослинного походження стане можливим створення нових видів пластмас.



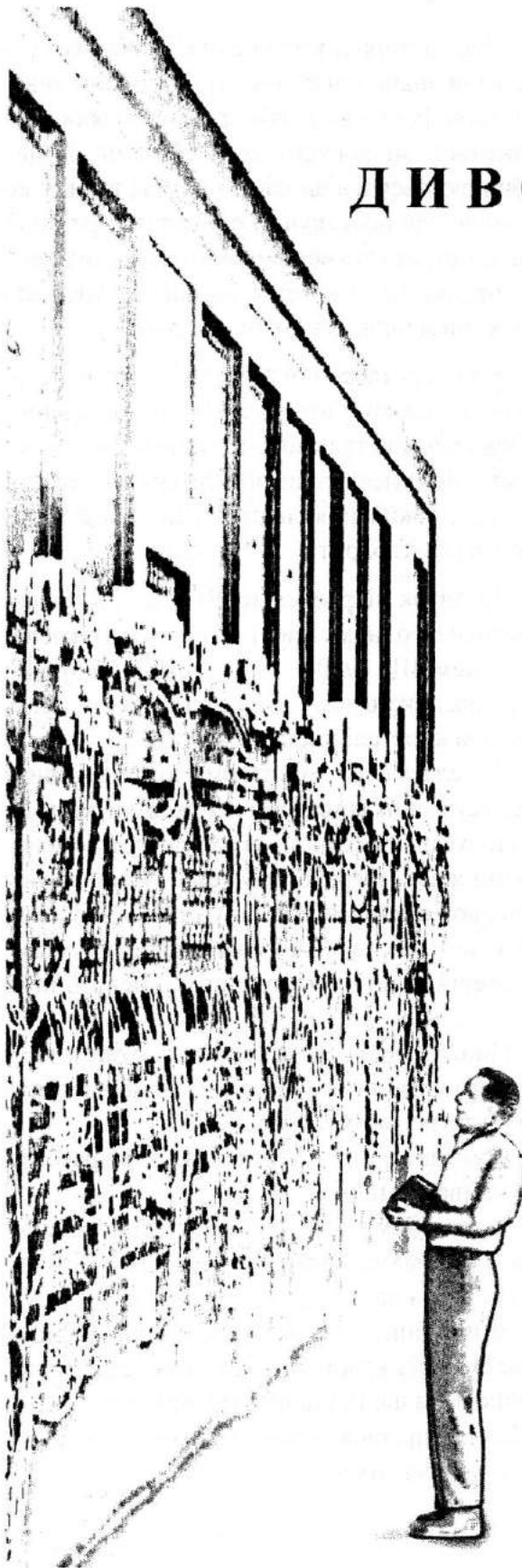
Цей пластик міцніший, ніж аналогічний за складом, основою якого є вуглеводи нафти. За відповідної технології він буде значно дешевший і легшим від звичайного матеріалу.

Однак є й недоліки, над якими працюють бразилійські винахідники. Вони впевнені, що їхній винахід матиме великий попит в автомобільній промисловості. Поки що роботи продовжуються і найперспективнішою сировиною є ананаси.



*Чи знаєте Ви що...*

## ДИВО МАШИНА



Перший у світі комп'ютер або універсальна електронна цифрова обчислювальна машина, "ЕНІАК" (ENIAC, Electronic Numerical Integrator And Computer) створили у США 1946 року. Він міг виконувати 3 тисячі операцій за секунду. Місця займав стільки, скільки займає цех на заводі (завдовжки 30 м, вага 30 тонн). Його десять тисяч електронних ламп мали потужність 20 кВт. Щоб охолодити таке величезне електронне диво, довелося збудувати потужну охолоджувальну систему, яка споживала ще 30 кВт. Тобто перший у світі комп'ютер споживав стільки електросенергії, скільки нині споживають мешканці багатопверхового будинку.

До того ж, одна з десяти тисяч його електронних ламп виходила з ладу майже щопів години. Нагрівники катодів ламп найбільше перегорали під час вмикання, тому такий пристрій не вимикали впродовж доби.

Звичайно, для того часу це була дивомашина. Вона в десятки тисяч разів рахувала швидше, ніж людина за допомогою арифмометра. Потреби учених, що опановували комп'ютер, щоразу зростали. Від творців комп'ютера вони вимагали збільшити швидкодію та об'єм його пам'яті хоча б у десять разів.

Однак було й багато скептиків щодо перспективного розвитку комп'ютерів.

Наприклад, тодішній директор компанії ІВМ Томас Ватсон передбачав, що світовий ринок потребуватиме не більше п'яти комп'ютерів. Дехто казав, що опрацювання даних – це примха небагатьох дослідників, та й ніхто не використовуватиме величезні машини в побуті.



А фантасти вже описували машину-велетня, величиною з величезний будинок, яку живить потужна гідроелектростанція, а охолоджує найбільший у світі водоспад.

Та інженери розуміли: такий велетень працювати не зможе. Машина, що матиме сто тисяч електронних ламп, працюватиме щонайдовше хвилину. На пошуки несправних ламп піде майже увесь час. Потрібно було відмовлятися від електронних ламп і від таких же ненадійних електронно-променевих трубок, які використовували як елементи пам'яті.

Заміну знайшли: замість електронно-променевих трубок застосували пам'ять на феритових осердях, а замість ламп – транзистори.

Треба згадати й досягнення українських учених. Мала електронна обчислювальна машина (МЕСМ, від рос. МЭСМ – Малая электронная счётная машина) була вперше створена в СРСР, уперше – в континентальній Європі – обчислювальна машина з програмою, що зберігається в пам'яті.

Створено МЕСМ в Інституті електротехніки АН УРСР під керівництвом академіка Сергія Олексійовича Лебедева, який на той час був директором цього Інституту. Почали працювати над розробленням такої машини ще 1948 року, а ввели її в експлуатацію 1950 року.

У 1950-х роках електронно-обчислювальні машини вже займали не велику залу, а звичайну кімнату і споживали в десятки разів меншу потужність. Швидкодія машин та їхня пам'ять зросли не в десятки, а в тисячі разів. Комп'ютери перестали бути унікальними, їх почали виготовляти серійно. Дедалі ширше їх застосовували для наукових обчислень, у керуванні виробничими процесами, банківській справі. Усі сфери життя вимагали щораз досконаліших комп'ютерів.

Транзистори інтегральної мікросхеми працювали значно швидше, ніж звичайні транзистори. Їхня швидкодія зросла завдяки компактності мікросхеми (електричний сигнал поширюється зі швидкістю світла і за одну мільярдну частку секунди проходить тридцять сантиметрів, і що менший його шлях, то швидше працює комп'ютер). Розміри реальної мікросхеми менші, ніж головка сірника.

Від часу створення "ЕНІАК" минуло небагато років, а комп'ютери завдяки інтегральним мікросхемам стали зовсім іншими: об'єм пам'яті зріс у тисячі разів, швидкодія – у десятки тисяч, споживання енергії зменшилось у тисячу разів, габарити – у сто разів.

Розвиток мікроелектроніки дав змогу розмістити на одному кристалі тисячі інтегрованих схем. Ще 1980 року центральний процесор невеликого комп'ютера вдалося розташувати на кристалі площею 1,6 см<sup>2</sup>.

Почалася епоха мікрокомп'ютерів. Швидкодія сучасних комп'ютерів у десятки разів перевищує швидкодію комп'ютерів третього покоління на інтегральних схемах, в 100 разів – швидкодію комп'ютерів другого покоління на транзисторах та 10 000 разів швидкодію комп'ютерів першого покоління на електронних лампах.

Нині створюють і розвивають комп'ютери п'ятого покоління – комп'ютери на надвеликих інтегрованих схемах.

Комп'ютери розрізняють за розмірами та можливостями.

Є суперкомп'ютери – дуже великі з тисячами з'єднаних мікропроцесорів, які можуть виконувати надскладні обчислення.

За подібним до суперкомп'ютерів принципом будують кластери – декілька незалежних обчислювальних машин, які використовують спільно, і працюють вони як одна система для розв'язання тих чи інших задач.



Є маленькі комп'ютери, що вмонтовані в автомобілі, телевізори, стереосистеми, калькулятори тощо.

Нещодавно в Японії розробили крихітний комп'ютер величиною як маленький кубик (52 x 52 x 55 мм). Його поки що реалізують лише в Японії за ціною понад триста доларів, за межами країни очевидно його вартість зростає.

Англійський розробник ігор Девід Бребен також створив крихітний і дешевий комп'ютер. Вартість такого комп'ютера становить лише 25 доларів. Пристрій, який за розмірами можна порівняти з брелком, виконано на процесорі ARM11 з тактовою частотою 700 МГц, він наділений 128 Мб оперативної пам'яті. Операційна система, додатки і дані можуть зберігатися на флеш-карті пам'яті формату SD/MMC.

На одному з торців комп'ютера розташовано роз'єм для під'єднання дисплею, на іншому – порт для приєднання пристрою введення, наприклад, клавіатури. Роль програмної платформи грає операційна система з ядром Linux, а можливостей міні-комп'ютера вистачить для виконання простих завдань, наприклад, для відтворення відео.

Є персональні комп'ютери: настільні, портативні, кишенькові, планшетні та ін.

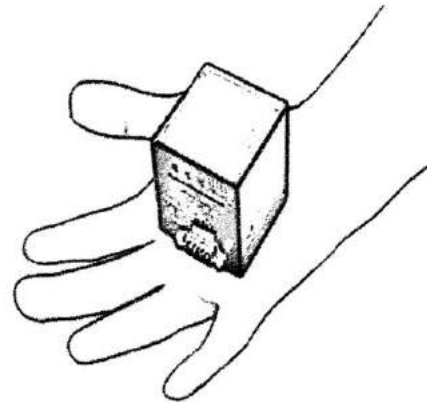
Найпотужнішими комп'ютерами нині є:

– *JUGENE*.

Його потужність дорівнює сумі потужностей 50 тисяч звичайних комп'ютерів. Комп'ютер зібрано з 72 блоків, кожен величиною як шафа, споживає електроенергії лише 2,2 МВт.

– *JAGUAR*.

Володіє величезною потужністю. У першому відсіку є 18688 комірок, у кожному з яких



розміщено два шестиядерні процесори частотою по 2,3 МГц, оперативна пам'ять 16 Гб.

У другому відсіку є 7832 комірок, у кожному з яких розміщено один шестиядерний процесор частотою 2,1 МГц, об'ємом оперативної пам'яті 8 Гб. Комп'ютер має свою операційну систему Cray Linux.

– *IBM ROADRUNNER*.

Продуктивність комп'ютера 1,026 петафлопс<sup>1</sup> (1,026 квадрильона операцій за секунду). Об'єм оперативної пам'яті 80 Тб, комп'ютер важить 255 тонн, коштує понад 130 мільйонів доларів і споживає 4 МВт електроенергії, загальна довжина кабелів під'єднання становить 88 кілометрів.

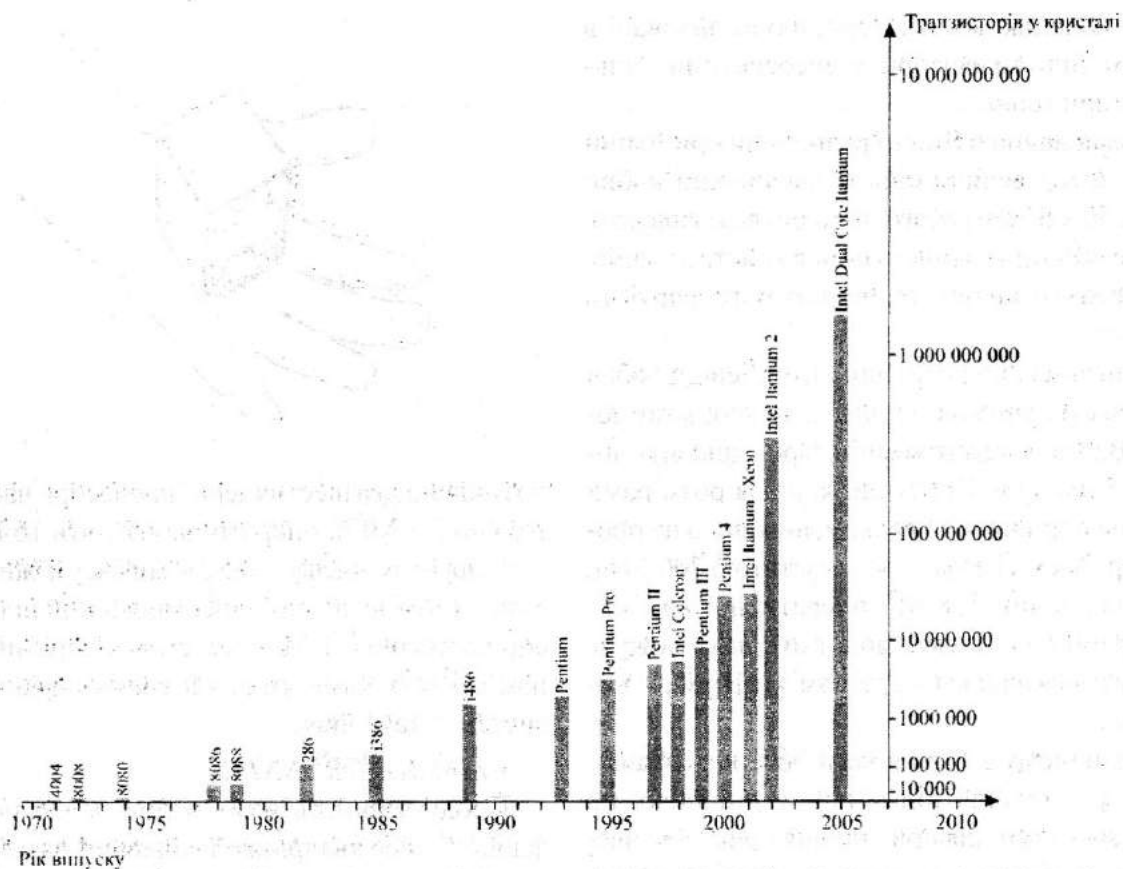
За день комп'ютер може виконати таку кількість обчислень, які шість мільярдів людей виконали б на калькуляторі за 46 років.

Такі суперкомп'ютери нині дуже великі та дорогі. Розробники впевнені, що в майбутньому вони матимуть розміри, вагу та вартість як нинішні персональні комп'ютери.

Сьогодні комп'ютер увійшов у всі сфери суспільної діяльності та приватного життя людини.

Яким він буде за десять, двадцять років?.. Важко збагнути...

<sup>1</sup> *Flops* – (FLOPS, від англ. Floating Point Operations Per Second – “операції з плаваючою комою за секунду”) – одиниця вимірювання швидкодії обчислювальних приладів, особливо в галузі наукових обчислень.



Ілюстрація закону Мура

Один із засновників корпорації *Intel* Гордон Мур 1965 року передбачив майбутнє комп'ютерів. Його передбачення, відоме як закон Мура, стверджує, що кількість транзисторів у мікросхемах буде подвоюватися щодва роки.

Прогноз Гордона Мура (Gordon Moore)<sup>2</sup> став підґрунтям світової технічної революції, корпорація *Intel* й нині є лідером галузі на шляху до підвищення продуктивності, енергозбереження і технологій, які дають змогу створювати нові обчислювальні засоби.

Постійно створюючи інноваційні технології, корпорація *Intel* забезпечує виконання цього закону вже понад 50 років, вкладаючи мільярди доларів у дослідження і розроблення.

“...У першому мікропроцесорі було лише 22 сотні транзисторів. У наступних поколіннях процесорів ми побачимо в мільйон разів складніше рішення – мільярди транзисторів. Це дасть нам воістину феноменальну гнучкість розроблення нової продукції”, – сказав Гордон Мур.

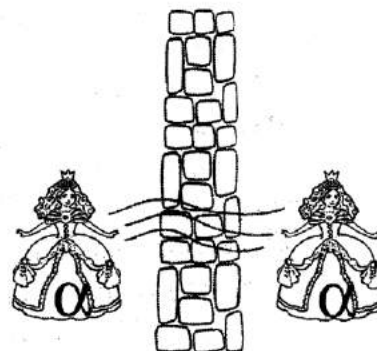
<sup>2</sup>У журналі “Electronics” у рубриці “Експерти дивляться в майбутнє” 19 квітня 1965 року було опубліковано статтю Гордона Мура “Об’єднання великої кількості компонентів в інтегральних схемах” (Cramming more components onto integrated circuits). У ній автор спрогнозував розвиток мікроелектроніки на найближчі десять років на підставі аналізу шестирічного розвитку мікроелектроніки, передбачив, що кількість елементів на кристалах електронних мікросхем буде й надалі щороку подвоюватися.





## КАЗКА ПРО СТАРОГО КОРОЛЯ І КОРОЛІВНУ АЛЬФУ

*Польський фізик, професор Аркадіуш Пекара 1947 року написав казку, де показав як частинка  $\alpha$  зуміла звільнитися з ядра атома проти опір потенціалу ядерних сил.*



Було це дуже, дуже давно. Світ був тоді чудовим і набагато цікавішим ніж сьогодні. Не було в ньому стільки зла і неминучого кінця. Не розумію чому так було. Чи тому, що люди були кращі, чи може тому, що стала Планка була більша – словом, відбувалися дива.

Дуже далеко звідси, за горами і ріками, за двістісімома і одним кордоном лежало королівство сивого короля Урана Першого. Це був дуже старий король, і навіть найстарші люди не пам'ятали, як давно він народився. Мав король чудову доньку, молоду королівну Альфу. Старий король дуже хвилювався про її майбутнє. Переживав він також і за себе, бо наближалася його смерть.

Якось король, як і належало могутньому володареві, покликав до себе придворного астролога і запитав його:

– Скажи мені, коли я помру, і що станеться з королівною Альфою?

Астролог, а це був знаючий астролог, розгорнув пергамент з гороскопом короля і промовив:

– Королю, твоя сила міцно по'язана з силою королівни Альфи. Дивно протікає твоє життя. Не бійся смерті. Будеш жити ще мільярд років, але з однією умовою: якщо твоя донька, королю, не переступить межі твого замку. У день, коли б це сталося, помреш, а твій син перейме по твоїй смерті королівство як Уран Х Перший. То буде нещасливе панування, бо триватиме не більше 24 днів, а може навіть менше. Син твій помре, а

**ПЕКАРА Аркадіуш Хенрик** (Piekara Arkadiusz Henryk) (12.01.1904–28.04.1989) – польський фізик-експериментатор, член Польської академії наук. Народився у Варшаві. Закінчив Варшавський університеті (1927). У 1928–1939 рр. працював учителем фізики у середній школі в Ридзині, у 1937–1946 рр. – у Краківському університеті, 1946–1952 рр. – професор Вищої технічної школи у Гданську, 1952–1965 рр. – професор і директор Інституту експериментальної фізики Познанського університету, 1965–1974 – професор Варшавського університету (у 1966–1967 рр. – директор Інституту фізики Польської академії наук). Від 1983 р. працював в університеті Адама Міцкевича в Познані.

Дослідження у галузі фізики твердого тіла, фізики рідини, магнетизму, спектроскопії, оптики, квантової електроніки, нелінійної оптики. Разом з С. Келихом передбачив (1958–1959) вимушене двозаломлення та зміну діелектричної і магнетної проникності середовища під впливом потужного лазерного випромінення. У 1966–1968 рр. пояснив ефект автоколімації світла, у 1971–1974 – збільшення показника заломлення середовища під дією лазерного імпульса.

Одержав Державну премію Польської академії наук (1955), медаль Марії Склодовської-Кюрі (двічі) та медаль М. Смолуховського Польського фізичного товариства (1976). Помер 1989 р. у Варшаві.



королівство поділять між твоїми двома онуками: Ураном Х Другим і Ураном Z, життя яких також...

– Мовчи, – перервав його король, – бо накажу тебе стратити!

Розповідають, що відразу король зміцнив вали замку, під'єднав до них 20 MeV (така тоді там була міра), замурував усі виходи, аби від того часу королівна Альфа не могла покинути межі замку.

Бідна королівна Альфа! Не можна описати, скільки сліз вона вилила! Ходила покаями, алеями, ясну голівку притуляла до валів і плакала. Аж якоїсь теплої ночі, коли заплакана королівна заснула під валом, прийшла до неї у сні добра ворожка і так до неї промовила:

– Не сумуй так, королівно Альфо! Я прийшла до тебе, аби допомогти тобі. Хочеш допомогти собі: співай, королівно, співай своїм чудовим голосом, і дізнаєшся про зміни. Чи знаєш ти, що звукові хвилі проходять через мури і вали, на волю? Чи знаєш, що ті хвилі є частинками твого “я”? Отож силою, якою я володію, заміню їх на хвилі де Бройля. І відтоді набудеш силу дивовижну: у середині, дорогою і поза валом, напевно, там опишишся. Повір мені і співай! Нехай хвилі де Бройля пройдуть через вал, нехай йдуть на волю.

І відтоді королівна співала своїми королівськими вустами, співала, як соловейко, як срібний дзвіночок. Її голос розлітався поміж стінами мурів. Там творилися, передбачення ворожки, стоячі хвилі де Бройля з потужною амплітудою, там справджувалися найзаповітніші бажання королівни. А слабенькі хвилі виходили за вал. І коли так королівна співала, їй здавалося, що це сильне її бажання волі, розпливалося полями і ланами, розноситься хвилями.

Аж якогось певного дня королівна Альфа, по таких літаннях хвилями, опинилася – на волі.

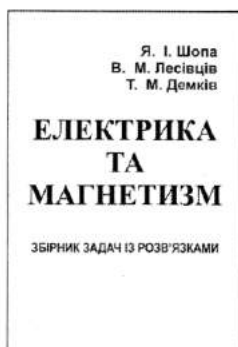
А вчені того краю, маги та астрологи, вивчали дивовижне явище і ніяк не могли зрозуміти, як таке сталося. Королівна була дуже крихітна, аби перебраться через вали, а у валах жодного тунелю не було. Один з них, учений зі Сходу, на прізвище Гамов, висловився так:

“Дивовижне явище звільнення королівни Альфи є фактом. А відбулося воно так, ніби королівна перетворившись на хвилю, перетнула вал, поза валом набрала знову свою попередню подобу. Я написав тут дуже мудре рівняння і зробив ще мудріше обчислення, і впливало з них все, що відбулося, а також все, що може відбутися в майбутньому. Як факт, що мої попередні твердження завжди справджувалися і справджуються, переконують мене у слушності моїх висновків щодо хвильової природи цілого світу. Дивовижне явище з королівною мусимо визнати за природне явище. А те, що сталося, ніби королівна пройшла через тунель, назвемо його “тунельним ефектом”.

---

*Фізика розширює наші розумові здібності. Вона є досконалою школою наукового мислення, наукового критицизму і наукової скромності.*

*Аркадіуш Пекара*



**Шопа Я. І., Лесівців В. М., Демків Т. М. Електрика та магнетизм. Збірник задач із розв'язками.** Навчальний посібник для вищих навчальних закладів. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 288 с.

Подано понад 600 задач з курсу “Електрика та магнетизм”, які структуровано у 15-ти розділах. До всіх задач подано відповіді, а до значної частини – розв'язки.

Для студентів фізичних та інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також студентів нефізичних спеціальностей.

Серія “БІБЛОТЕКА “СВІТ ФІЗИКИ”

**Василь Стадник, Василь Курляк. 3 когорти плугатарів** (З нагоди 80-річчя від дня народження Миколи Олексійовича Романюка). – Львів: Євросвіт, 2011. – 116 с. Іл.:



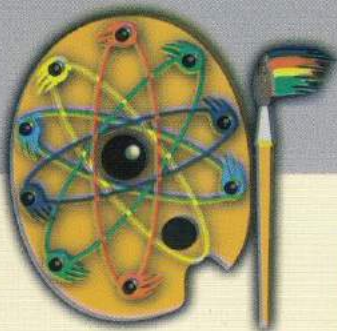
У книжці, присвяченій 80-річчю від дня народження українського фізика, заслуженого професора Львівського національного університету імені Івана Франка, відображено основні етапи життя, наукової та педагогічної діяльності Миколи Олексійовича Романюка. До видання увійшли покажчик друкованих праць ученого та світлина.

Назву видання підказала відома праця Івана Садового “Безіменні плугатарі” про вчителів у міжвоєнні роки ХХ сторіччя, фанатів своєї справи, які “орали” запущену і постійно нищену ниву освіти на Західно-українських землях. Їм допомагали теж безіменні плугатарі, які там же оралі ниву чорнозему. Тут йдеться про одного з багатьох вихідців із села, який працює на педагогічній ниві у наші дні.

Для науковців, викладачів, аспірантів, студентів та усіх, хто цікавиться історією науки.

Серія книжок “Бібліотека “СВІТ ФІЗИКИ”

1. Олекса Біланюк. *Такіони*. – Львів: Євросвіт, 2002. – 160 с.
2. Шопа Г., Бондарчук Я. *Творчість – його кредо*. – Львів: Євросвіт, 2003. – 92 с.
3. В. Алексейчук, О. Гальчинський, Г. Шопа. *Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки*. – Львів: Євросвіт, 2004. – 184 с.
4. Іво Краус. *Вільгельм Конрад Рентген* (пер. з чеськ.). – Львів: Євросвіт, 2004. – 94 с.
5. Штол Іван. *Крістіан Доплер* (пер. з чеськ.). Львів: Євросвіт, 2004. – 72 с.
6. *Василь Міліянчук* /За ред. О. Попеля. – Львів: Євросвіт, 2005. – 20 с.
7. *Життя, віддане науці* / За ред. І. Николина. – Львів: Євросвіт, 2005. – 106 с.
8. Б. Кремінський. *Всеукраїнські олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки*. 3-те вид. – Львів: Євросвіт, 2007. – 344 с.
9. Манфред Ахіллес. *Різдвяні листи про знаменитих фізиків* (нім. мовою). – Львів: Євросвіт, 2007. – 56 с.
10. Мриглод І. та ін. *Микола Боголюбов та Україна*. – Львів: Євросвіт, 2009. – 192 с.



**Павло Громницький (1889–1977)**  
**Квіти. Полотно, олія. 1930**

*Павло Антонович Громницький народився в Україні, у селі Громниця Дніпропетровської області.*

*Навчався в Петербурзькій Академії Мистецтв, у відомого пейзажиста Миколи Дубовського.*

*Перша світова війна перервала його навчання, для Громницького вона закінчилася в Празі.*

*Там він продовжив художню освіту в студії пейзажиста Фердинанда Енгельмюллера, де згодом став асистентом, та в Українській студії пластичного мистецтва.*

*Павло Громницький 1923 року поїхав до Парижа, де навчався у Анрі Матісса. За підтримки Анрі Матісса та Пабло Пікассо, Громницький 1925 року організував персональну виставку у Парижі, після якої король Норвегії запросив його працювати в країну фьордів, де він написав сотні пейзажів.*

*Павло Громницький багато подорожував, побував в Італії, Індії, Тибеті, Японії, США.*

*Він 1928 року повернувся до Праги, де мешкав до кінця свого життя. Похований у Празі на кладовищі Мальвазінки.*