

С В І Т

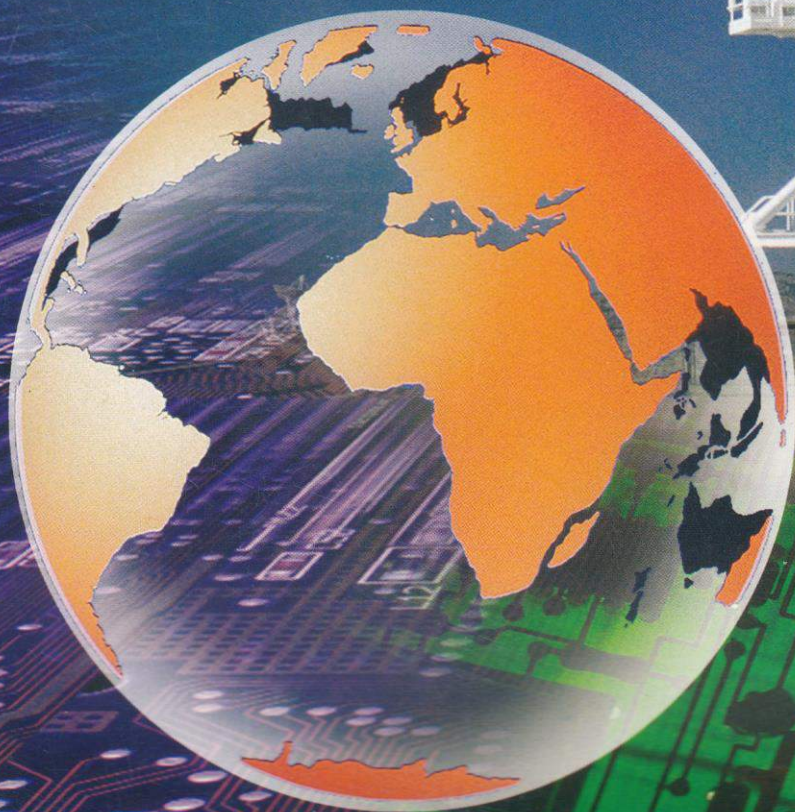
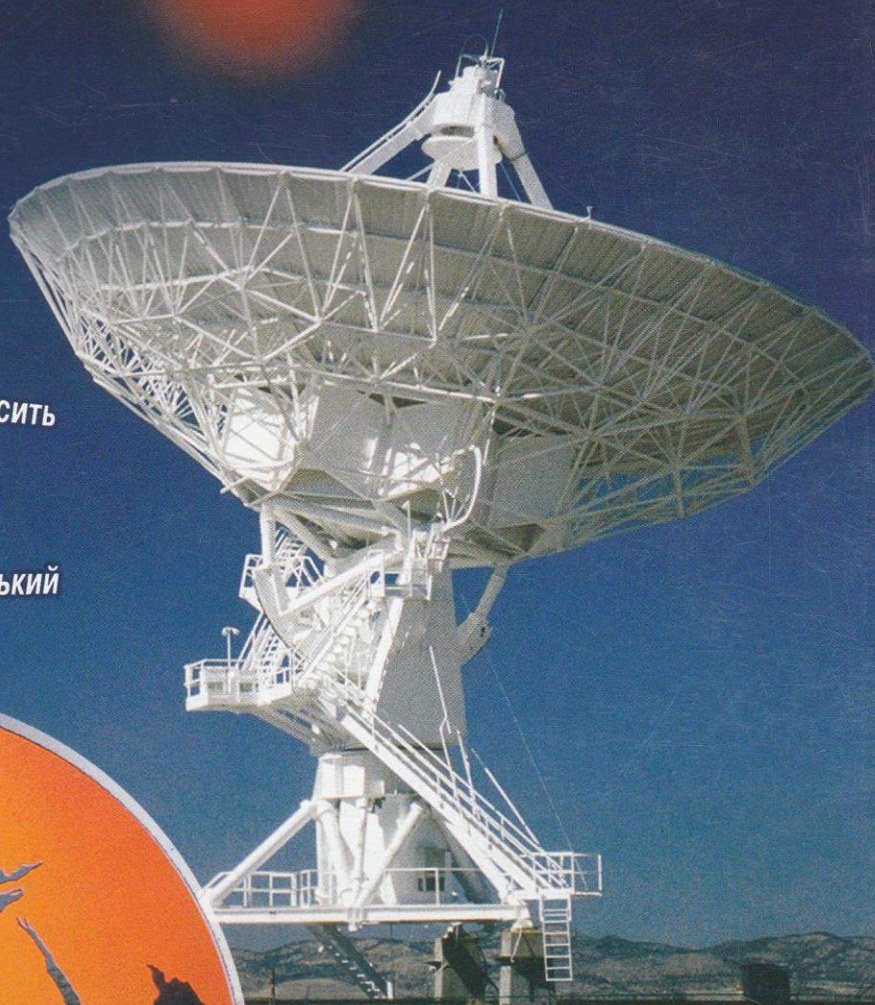
ФІЗИКА

науково-популярний журнал

№3
2002

"Самостійна діяльність
людини лежить в основі
будь-якої творчості і підносить
її над рівнем пасивного
спостерігача..."

Олег Орлянський



АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ

Наше суспільство мусить усвідомити значення розвитку фундаментальних наук. Саме ці науки зумовлюють впровадження нових технологій, нових матеріалів, підвищують життєвий рівень людини, зміцнюють обороноздатність країни тощо. Однак пам'ятаймо, що здобутки фундаментальних досліджень завжди ґрунтуються на високому рівні викладання фізики, математики, хемії у середніх та вищих навчальних закладах. Нині науковці та педагоги в Україні стурбовані рівнем фундаментальної підготовки майбутніх фахівців. Викладання фізики в середніх та вищих навчальних закладах постійно аналізують на наукових та науково-педагогічних конференціях.

У березні 2002 р. у Львівському національному університеті імені Івана Франка відбулася Всеукраїнська конференція з проблем викладання фізики та астрономії в середніх навчальних закладах, а в жовтні 2002 р. у Національному університеті „Львівська політехніка” проходила Міжнародна науково-методична конференція „Актуальні проблеми викладання фізики у вищих освітніх закладах”. На цих конференціях учасники обговорювали концепцію фундаментальної (зокрема в галузі фізики) підготовки фахівців, проблеми викладання фізики в середній школі, рівень підготовки абітурієнтів, нові педагогічні та методичні технології викладання фізики в навчальних закладах, нові форми навчання, проблему підручників, стан популяризації науки і техніки, проблеми термінології.

Учасники конференції „Актуальні проблеми викладання фізики у вищих освітніх закладах”, усвідомлюючи важливість завдань, прийняли ухвалу:

- Донести до відома Міністерства освіти і науки України, Асоціації Ректорів України нашу глибоку стурбованість станом освіти в галузі фундаментальних наук, зокрема, фізики. Вважати необґрунтованим скорочення годин на викладання фізики, фундаментальних дисциплін нижче від критичного рівня, коли будь-які методики чи викладацький хист стають безсилими. Оправдання такої ситуації посиленням на якісь стандарти чи інструкції вважати як недосконалість останніх. Зокрема встановити як мінімальний, трисеместровий курс загальної фізики для інженерно-технічних спеціальностей. Для інших технічних спеціальностей ввести як обов'язковий двосеместровий курс фізики, а для всіх інших – односеместровий, що дасть змогу виховати фахівця, здатного розуміти і розв'язувати проблеми довкілля та інші глобальні проблеми;
- Звернутися в Державний комітет з радіо і телебачення з проханням впливати на якість матеріалів про науку та техніку (хоча б на рівні коментарів провідних учених до сумнівних у науковому плані матеріалів);
- Для забезпечення лабораторним устаткуванням навчальних лабораторій звернутися до відповідних державних установ щодо сприяння роботі (можливо шляхом пільгового оподаткування) спеціальних виробництв нестандартного обладнання для навчальних лабораторій та лекційних демонстрацій, навчальних компакт-дисків;
- З метою прискорення впровадження комп'ютерних технологій освіти, просити Міністерство освіти і науки України створити центр координації та розповсюдження таких технологій;
- Поновити практику підвищення кваліфікації викладачів та їхню періодичну атестацію у провідних вищих навчальних закладах України;
- Рекомендувати Міністерству освіти і науки України ввести у навчальні плани фізичних та технічних спеціальностей курс „Філософія науки і техніки та історія фізики” як обов'язковий.

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

3(19) '2002

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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк
СП „Євросвіт”, наклад 1000 екз.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

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

у Києві 380 (044) 416 60 68

sf@ktf.franko.lviv.ua

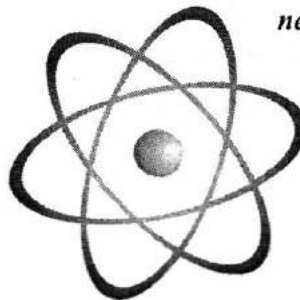
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Фізика вчить мислити... Здатність мислити виникає лише разом із залученням до загальнолюдської культури і знань. Завдання фізика-педагога – полегшити кожному учневі і студентові долучитись до цієї культури. Над цим мають спільно працювати школи і вищі навчальні заклади.

У своїй практичній діяльності викладач фізики має пам'ятати і дотримуватися того, що розв'язування задач у широкому розумінні зовсім не є привілеєм лише фізики, математики чи хемії. Увесь процес людського пізнання – це неперервна поява все нових і нових викликів.

Сьогодні маємо навчати молодь так, щоб вона вміла творчо і критично мислити, реалізувати свої знання на практиці. Цей процес треба починати зі шкільної лави, враховуючи індивідуальні нахили й особливості школяра чи студента.

*Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища фізики

Смакула Олександр. Вирощування монокристалів
Боднарчук Ярослав, Довгий Ярослав, Пилатюк Іван.
Фізика для медицини: низькоінтенсивна
лазерна терапія

3

2. Фізика України

Корсунь Алла. Полонська – ім'я земне і небесне

11

3. Фізика світу

Шопа Галина. Романтик науки

15

4. Нобелівські лавреати

Гальчинський Олександр. Творці сучасної електроніки

18

5. Шпаргалка абітурієнта

Колєбошин Валерій, Віктор Павло. Експериментальна
фізика в школі

23

6. Олімпіади, турніри...

Умови задач XI Всеукраїнського відкритого
турніру юних фізиків

27

7. Творчість юних

Мамедов Тимур. Суперпляма

32

8. Олімпіади, турніри...

Розв'язки задач Всеукраїнської
олімпіади з фізики 2002 року

34

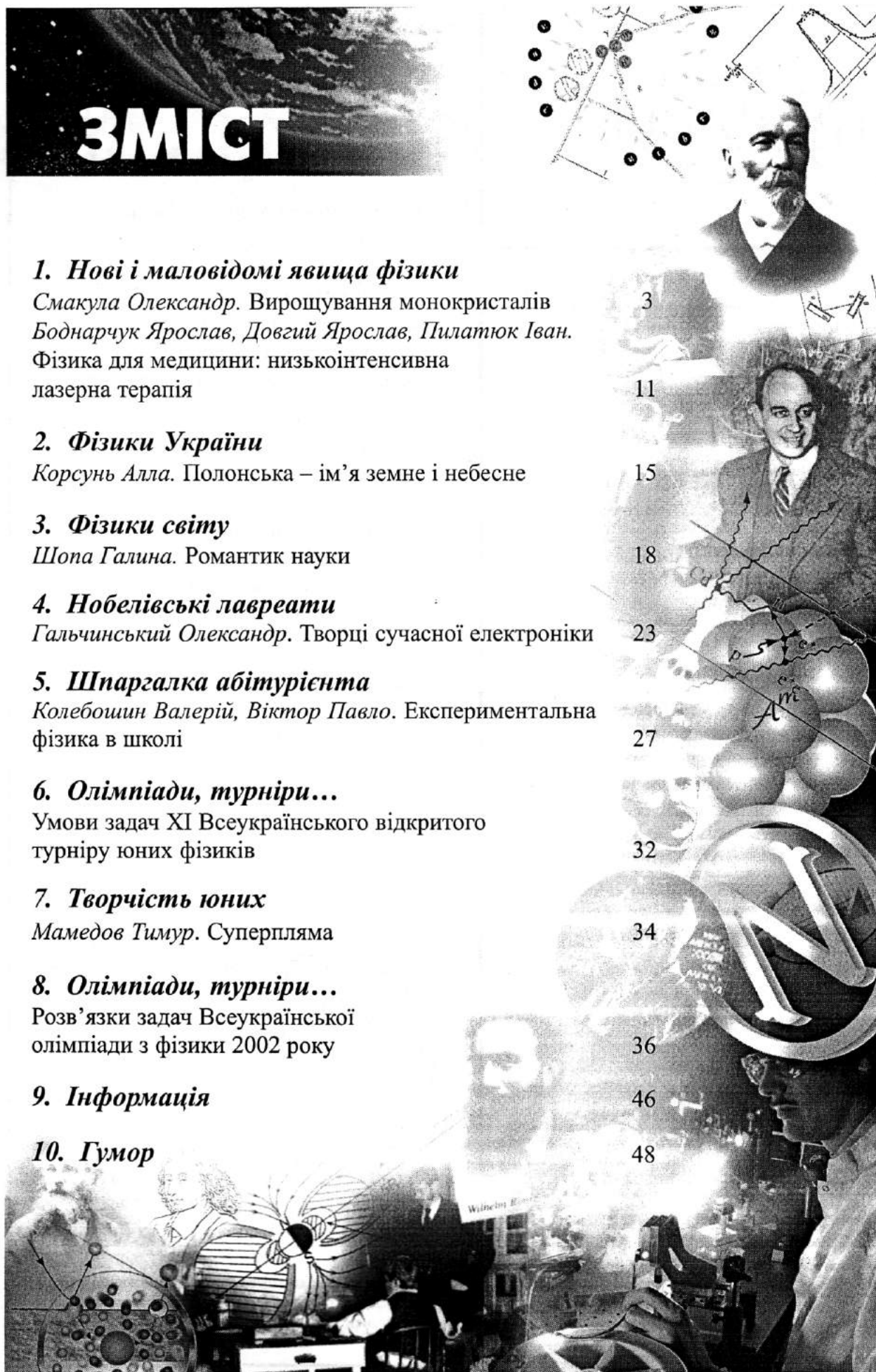
9. Інформація

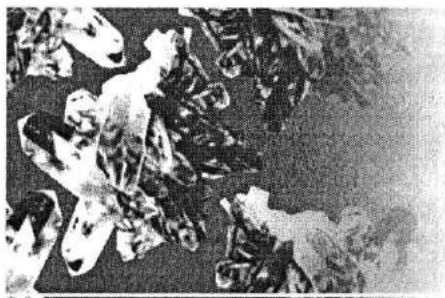
36

10. Гумор

46

48





ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІВ

Олександр Смакула*

Дослідження кристалів

Наприкінці XIX ст. кристали, які були панівними у мінералогії, стали предметом особливої уваги фізиків. Результати цього класичного періоду макроскопічних досліджень зібрані у книзі Войгта, яка є стандартом у цій галузі. Після відкриття фон Лауе дифракції X-променів акценти змістились на дослідження внутрішньої структури. Крім X-променевої, нині застосовують електронну, нейтронну дифракції, а також інші способи, які дають змогу не лише встановлювати положення атомів та структуру груп молекул, а й визначати міжатомну електронну густину, магнетні моменти, види коливальності тощо.

Додатковим поштовхом до досліджень кристалів стало вивчення механічної міцності твердих тіл. Із теорії випливає, що міцність мусить бути на декілька порядків більшою, ніж та, що фактично спостерігається. Для пояснення цієї розбіжності було враховано тріщини, мозаїку, структурні та інші дефекти, а також запропоновано розмежувати структурно-чутливі та структурно-нечутливі властивості. Була створена нова концепція дефектів, знаних як дислокації.

Інші напрями досліджень кристалів розвивалися вивченням центрів забарвлення, йонної провідності, люмінесценції, електричних детекторів, п'єзоелектричних резонаторів і перетворювачів та напівпровідників. Кристали потрібно було вирощувати для інфрачервоної та ультрафіолетової спектроскопії, радіаційних детекторів (кристалічні лічильники та сцинтиляційні лічильники), для вивчення фероелектриків та феромагнетиків, а також як синтетичні коштовні камені для ювелірної промисловості. Як видатне досягнення можна згадати синтез алмазів у лабораторіях General Electronic Company.

*Фрагмент із праці А. Smakula. *Growth and perfection of single crystals*. Molecular Engineering /Editor A. von Hippel. – New York, 1959. – P. 182–206. Український переклад з книги: Наукові праці: У 3 т. – Тернопіль: Фонд Олександра Смакули, 2000. Т. 1. – 404 с.

У цьому розділі ми не розглядатимемо всіх аспектів цієї галузі, а сконцентруємо увагу на техніці вирощування кристалів та на відмінностях між ідеальними та реальними кристалами.

Формування центрів кристалізації

Вирощування кристалів з пари, розчинів, розплавів чи із твердого стану потребує формування центра кристалізації. Такий центр може утворитися, якщо декілька елементарних частинок завдяки статистичній флуктуації утворюють зародок кристалічної фази (гомогенне зародження центрів кристалізації); ймовірніший варіант, коли центром кристалізації є домішка чи деяка поверхня (гетерогенне формування центрів кристалізації). Умовою цього є певне перенасичення (критичне перенасичення), яке залежить від матеріалу та його чистоти.

Вирішальним чинником є залежність між тиском пари p_n і радіусом r частинки, яка встановлюється рівнянням Томсона:

$$\ln \frac{p_n}{p_\infty} = \frac{2\gamma V}{rRT}, \quad (1)$$

де γ – коефіцієнт поверхневого натягу; V – молярний об'єм; p_∞ – тиск пари за межами об'єму основної фази. Тиск пари збільшується експоненційно із зменшенням радіуса частинки. Отже, для малих частинок оточуюча пара є ненасиченою, і такі частинки випаровуватимуться; лише більші частинки мають шанс на „виживання”. Тому швидкість формування центрів кристалізації дуже залежатиме від перенасичення.

Для формування центра з n атомів потрібна енергія

$$U_n = \frac{1}{3} A \cdot \gamma, \quad (2)$$

де $A = 4\pi r^2$ – площа поверхні частинки.



Підставивши r із формули (1), отримуємо, що

$$U_n = \frac{16\pi\gamma^3V^2}{3(RT)^2 \left(\ln \frac{P_n}{P_\infty} \right)^2}. \quad (3)$$

Швидкість формування центрів кристалізації в одиниці об'єму дорівнює:

$$\frac{dN}{dt} = C e^{-U_n/kT}. \quad (4)$$

У цій формулі стала C , яку обчислили Фаркаш, Бекер і Дюрінг, становить кількість зіткнень за секунду в одиниці об'єму, поділену на кількість атомів центра кристалізації критичного розміру, і дорівнює майже 10^{24} . Результати експериментів, які провели Вольмер і Флуд, узгоджуються з рівнянням (4), але залежність критичного перенасичення від температури, яку отримали Сандлер і Дамкюхлер, не узгоджуються, хоча обидва дослідження стосувались формування центрів із водяної пари. Причина такої розбіжності – у ненадійності визначення коефіцієнта поверхневого натягу малих частинок.

Швидкість формування центрів у розплавах описується формулою:

$$\frac{dN}{dt} = C \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right) \exp\left(-\frac{U_n}{kT}\right), \quad (5)$$

де Q – енергія активації самодифузії. Швидкість формування центрів у розплаві менша, ніж у парі, у $\exp(-Q/kT)$ разів. На основі рівняння Клаузіуса-Клапейрона вираз (3) може бути перетворений на:

$$U_n = \frac{16}{3} \left(\frac{\pi\gamma^3V^2T_0^2}{H^2(T_0 - T)^2} \right), \quad (6)$$

де H – теплота випаровування; T_0 – температура плавлення. Звідси видно, що швидкість формування центрів кристалізації у розплавах має максимум при температурі $T = T_0/3$, що встановив Тамман та його співробітники на багатьох розплавах (рис. 1). Через значні неточності теоретично розрахована швидкість центротворення може мати похибки у декілька порядків. З іншого боку, експериментальні дані через сильний вплив домішок також недостовірні.

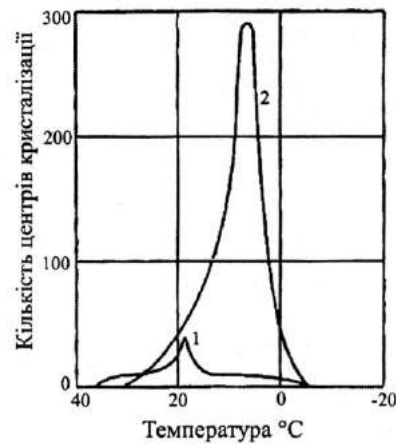


Рис. 1. Швидкість формування центрів кристалізації як функція переохолодження: 1 – чистий бетон ($C_{10}H_7COO \cdot C_6H_4OH$); 2 – бетон + 0,5% кварцової пудри (за Тамманом)

Після досягнення центром кристалізації розміру декілька сотень атомів тиск пари і температура плавлення наближаються до нормальних значень. Важливим елементом вирощування кристала є його реальний ріст після того, як центр кристалізації вже сформувався. Утворення плоских кристалічних граней та швидкість росту потребують теоретичного обґрунтування.

Вирощування кристала повторенням сходинок (Коссель, Странскі)

У процесі вирощування кристала можна виокремити три етапи: формування лінійного ланцюга, двовимірної площини і тривимірної ґратки (комірки). Лінійний ланцюг формується на поверхні йонного кристала послідовним з'єднанням йонів, розташованих уздовж краю, між собою. Формування сусідніх ланцюгів триває доти, поки вся поверхня не покриється новим шаром йонів („повторенням сходинок” за Косселем). Приєднання кожного йона спричиняє вивільнення енергії, яка залежить від його розташування у кристалі і яку можна розрахувати з енергії ґратки (рис. 2).

Поверхні кристала можуть стати гладкими, оскільки йони послідовно прикріплюються у місця з найбільшим енергетичним вигрaшем. Найбільший енергетичний вигрaш для NaCl є на (100)-площині, для CsCl – на (110)-площині та для CaF₂ – на (111)-площині. Тому ці площини



переважно є природними межами кристала. Різниця енергій на різних площинах у ковалентних кристалах значно менша, ніж у йонних кристалах; звідси, як показали дослідження, може траплятись більша різноманітність природних площин.

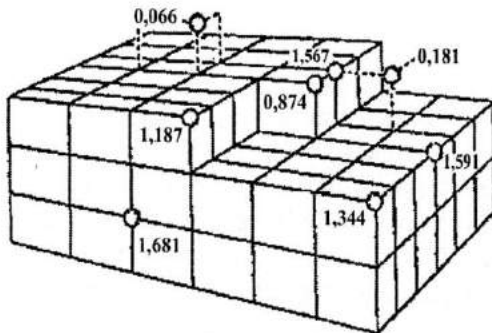


Рис. 2. Вивільнення енергії у зв'язку з розташуванням йонів залежно від позиції на грані куба гранецентрованого кристала (за Коссеєм)

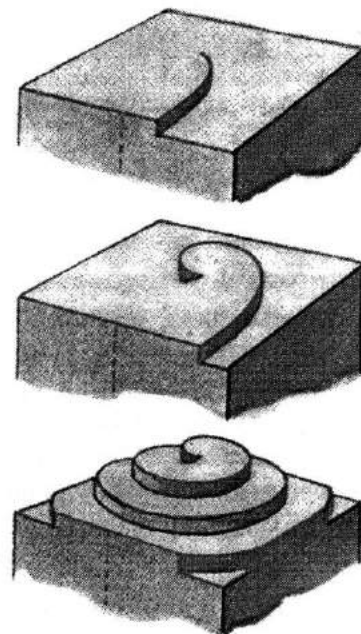


Рис. 3. Стадії формування гвинтових дислокацій

Швидкість росту і гвинтові дислокації

Формування кристалографічних площин є результатом вивільнення енергії. Щоб отримати інформацію про швидкість росту, нам треба врахувати найповільнішу стадію у процесі вирощування. Такою стадією, очевидно, є початок нового плаского шару „двовимірного зародка” (затравки). Як і у випадку з водяною краплею, тиск пари залежить від розміру зародка. Як впливає з (4), щоб забезпечити прийнятну швидкість формування центрів кристалізації, потрібне перенасичення від 25 до 40 відсотків, тоді як насправді достатнім є перенасичення менше від одного відсотка. До того ж швидкість вирощування має зростати експоненційно зі зростанням перенасичення, однак дослідження, наприклад, йоду чітко вказують на лінійну залежність. Щоб пояснити цю розбіжність, Франк висунув припущення, що на місці двовимірного зародка (затравки) можуть виникнути гвинтові дислокації. Вони утворюють виступ на площині ґратки (рис. 3), який посилюється у процесі росту. Гвинтові виступи вивчали на різноманітних кристалах, і нині загально визнано, що гвинтові дислокації дуже важливі у процесі росту кристала.

Вирощування з розчинів за атмосферного тиску

Цей спосіб використовують для матеріалів з відносно великою розчинністю (дещо більшою за 20%). Розчинником найчастіше є вода. Розчин має бути вільним від забруднювальних частинок; від нерозчинних елементів його очищають перегріванням і фільтруванням. Кристали вирощуються з однієї або декількох затравок доведенням розчину до перенасичення (рис. 4).

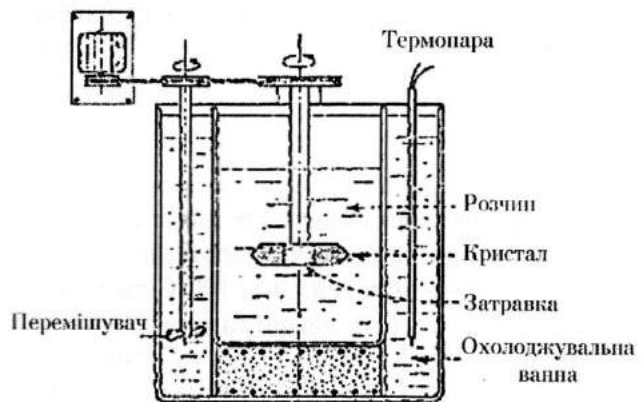


Рис. 4. Вирощування кристала з розчину за атмосферного тиску



Під час росту кристала перенасичення підтримується постійним пониженням температури, випаровуванням розчинника, додаванням розчинника чи зміною розчинності введенням іншого розчинника. Перенасичення слід підтримувати невеликим, інакше може погіршитись якість кристала. Швидкість випаровування чи зниження температури залежить від розчинності речовини та її здатності до кристалізації. Загалом температуру знижують із швидкістю від десятих часток до 1°C на день; це відповідає денному приростові від 1 до 2 мм. Для вирівнювання градієнта концентрації навколо кристала перемішують розчин або обертають кристал. Для вирощування кристалів, які мають малу розчинність, можна використати дифузійний спосіб, при якому до розчинника повільно і поступово додають реагенти. Так були вирощені кристали $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і BaSO_4 завдовжки декілька міліметрів.

Домішки під час росту кристалів частково сегрегуються (фракційна кристалізація), але повністю не видаляються. Детально ще не відомо, на яку глибину розчинник проникає у кристал. У деяких випадках домішки збільшують швидкість росту кристала, підвищують його якість чи змінюють його властивості (зовнішня форма). Найвідомішим прикладом зміни властивостей є вплив сечовини на хлорид натрію. У бездомішковому водному розчині NaCl кристалізується у формі куба, а з домішкою сечовини – кристалізується у формі октаедра. Зміна властивостей, можливо, зумовлена адсорбцією атомів чи молекул домішок уздовж головних площин кристала, що перешкоджає ростові на цих площинах. Такі модифікатори мають практичне використання для вирощування двоводневого фосфату амонію у головних напрямках.

Гідротермальний спосіб

Вирощування кристала із розчину вимагає достатньої розчинності. Загалом розчинність зростає із підвищенням температури, проте для нагрівання водних розчинів вище від 100°C треба мати герметичну посудину, що витримує високий тиск (автоклав). Гідротермальний спосіб успішно використовується для вирощування кристалів кварцу. Цей спосіб розробив Спезі понад 50 років тому. Він використовував розчин метасилікату натрію, помістивши подрібнений кварц у розігрітій зоні (350°C), а затравку кристала розміром 0,5 см

– у холоднішій зоні (200°C). За 199 днів затравка виросла до 2,5 см, однак цей спосіб виявився непрактичним. Роботи були відновлені майже через 40 років, що було пов'язано з початком війни. Некен підвищив швидкість вирощування майже у 50 разів, використовуючи аморфний кварц, який за температури близько 350°C має розчинність у 10 разів вищу, ніж кристалічний кварц. Однак ріст кристала зупинявся за день, оскільки сильне перенасичення спричинило утворення великої кількості нових центрів кристалізації та осадження кварцу на стінках автоклава.

Гідротермальний спосіб довели до практичного втілення у Brush Development Company Хайл і в Bell Telephone Laboratories Бухлер і Волкер (рис. 5). Швидкість росту і форма кристала залежать від розмірів, форми та орієнтації затравки. Тому, щоб отримати великі кристали кварцу, пот-

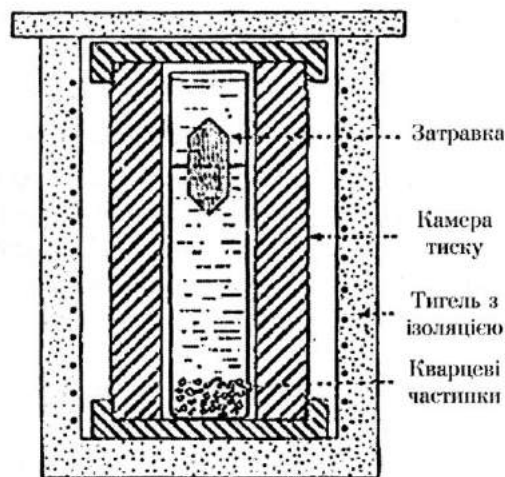


Рис. 5. Гідротермальне вирощування кристала

рібні затравки спеціальної форми. Кристали вирощували із розчинів за температур від 285 до 408°C , їм забезпечувався малий градієнт температури або ж автоклав струшували для циркуляції розчину. Із у-затравок ($12 \times 0,2 \times 0,2$ см) продукуються кристали розміром $12,5 \times 3 \times 6$ см за 6 тижнів. Швидкість росту в напрямку u дорівнює нулеві, у напрямку x – майже $0,8$ мм; у напрямку z – майже $1,5$ мм за день. Цей процес ще дуже повільний порівняно з іншими способами. У технічному автоклаві місткістю 27 літрів одночасно на 50 затравках вирощували майже 40 кілограмів кристалів. Цим способом до Другої світової війни по-



ряд з іншими кристалами успішно вирощували лише берил ($Al_2O_3 \cdot 3BeO \cdot 6SiO_2$) з 0,3% пігменту Cr_2O_3 , який надходив у продаж з назвою *Igmerald*, запропонованою Фарбеном.

Вирощування з розплавлених розчинів

Якщо неможливо знайти відповідний розчинник, то замість нього можна використати розплави твердих речовин за умови відсутності шкідливого впливу хемічних реакцій. Такий спосіб важливий для вирощування кристалів титанату барію. Загалом кристали $BaTiO_3$ можна вирощувати з розчину, проте фазовий перехід (гексагонал \Leftrightarrow куб) призводить до виникнення дефектів. Пласкі, порівняно малі кварцові пластини вирощували з трикомпонентних розплавів з використанням $BaCl_2$ як розчинника. Заміна $BaCl_2$ на KF суттєво підвищує розчинність $BaTiO_3$, у результаті чого отримують досить великі трикутні пластини (відомі як „крильця метелика”, оскільки вони формуються попарно). Змінюючи швидкість охолодження, можна також отримувати невеликі кристали кубічної структури.

Вирощування з розплавів

Цей спосіб знайшов застосування у вирощуванні кристалів з йонним, ковалентним та металевим зв'язками. Він підходить для матеріалів, які не розкладаються, досягаючи температури плавлення. Для матеріалів, чутливих до кисню, використовують вакуум або атмосферу інертного газу. Обладнання може дуже відрізнятися відповідно до температурних вимог, оскільки температура плавлення для різних матеріалів коливається від -271 до 3700 °С.

Гradientні способи

Ці способи забезпечують однонапрявлену кристалізацію або переміщення розплаву через температурно-gradientну зону, або переміщення температурного gradienta. Максимум швидкості росту визначається балансом між теплою, що вивільняється у процесі кристалізації:

$$C_1 = AH\rho v, \quad (7)$$

(де A – площа кристалізації; H – теплота кристалізації; ρ – питома густина кристала; v – швидкість кристалізації), і теплою, що розсіюється кристалом:

$$C_2 = Ak \frac{dT}{dl}, \quad (8)$$

де k – теплопровідність кристала, а dT/dl – температурний gradient. Звідси,

$$v = \frac{k}{H\rho} \frac{dT}{dl}. \quad (9)$$

Якщо $dT/dl = 10$ °С/см, то отримуємо швидкість росту від 1 до 100 см/год. Завдяки високій теплопровідності швидкість кристалізації для металів майже у 50 разів більша, ніж для неметалів. Gradientний спосіб дає змогу вирощувати кристали із затравкою або без неї.

Найбільший внесок у вдосконалення устаткування зробили Андраде, Тамман, Обреїмов і Шубніков, Бріджмен і Стокбаргер. Горизонтальне розміщення тигля і нагрівника використали Капиця, а згодом Чалмерс для вирощування металевих кристалів. Модифікація цього способу, яка полягає в одночасному використанні двох або більше попередньо зорієнтованих затравок, дає змогу отримувати подвійні чи потрійні кристали з орієнтованими межами.

Вертикально-gradientний спосіб

Піч розділена на дві секції з окремим контролем температури (рис. 6). У верхній секції підтримується температура вища від температури плавлення кристала, а в нижній – нижча.

Тигель з конічним дном опускається від верхньої до нижньої секції печі через ділянку з великим температурним gradientом. Кристалізація починається від кінця конуса, ріст монокристала забезпечується температурним gradientом і точно регульованою швидкістю опускання розплаву.

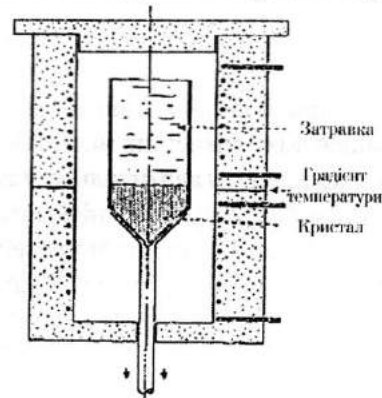


Рис. 6. Вертикально-gradientний спосіб вирощування кристалів



Вирощені за таких умов кристали мають випадкову орієнтацію. Для вирощування кристалів з переважаною орієнтацією потрібно розташовувати затравки на дні тигля. Так були вирощені кристали діаметром та завдовжки до 20 см.

Горизонтально-градієнтний спосіб

Капиця запропонував спосіб, за яким човник (переважно графітовий) з розплавом перетинає ділянку з температурним градієнтом із швидкістю від 4 до 150 см/год. Щоб забезпечити переважачу орієнтацію, використовують затравку; дві по-різному орієнтовані затравки продукують подвійний кристал з особливою будовою поверхні, який використовують для вивчення фізичних властивостей поверхневих шарів кристала (рис. 7). Горизонтально-градієнтний спосіб використовувався лише для металів.



Рис. 7. Горизонтально-градієнтний спосіб вирощування кристалів (за Чалмерсом)

Спосіб зонного плавлення

Спосіб зонного плавлення усуває забруднення розплаву (наприклад, кремнію) речовиною, з якої виготовлено тигель, оскільки сам тигель не використовується. Устаткування, що працює за способом зонного плавлення, використовується для очищення напівпровідників від домішок (рис. 8). Воно працює так: спечений матеріал у вигляді стрижня закріплюють вертикально у вакуумі чи інертному газі, і в цьому стрижні розплавлюється тонка зона переважно індукційним нагріванням. Повільне переміщення зони продукуватиме монокристал. Максимальний діаметр кристала залежить від поверхневого натягу розплаву і зазвичай не перевищує 1 см. Швидкість росту ≤ 30 см/год. Питомий опір монокристалів кремнію, вирощених

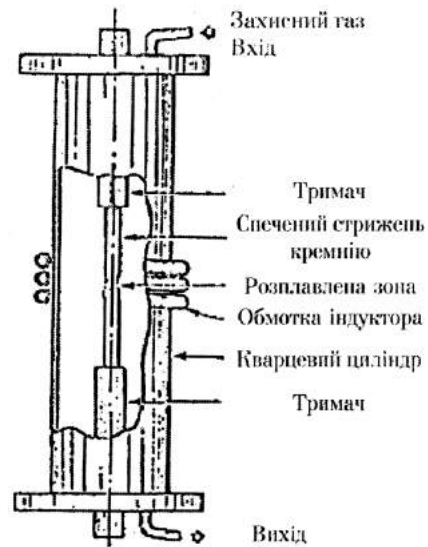


Рис. 8. Вирощування кристалів способом зонного плавлення

способом зонного плавлення, становить $> 10^3$ Ом·см порівняно з 10^2 Ом·см для кристалів, вирощених із розплавленого кремнію у тиглях.

Спосіб витягування

Кристалотримач охолоджують стисненим повітрям або водою. Затравку, яка закріплена на його нижньому кінці, опускають, поки не торкнеться поверхні розплаву, температура якого підтримується на 10 ± 50 °C вищою, ніж температура плавлення (рис. 9). Температури затравки і роз-

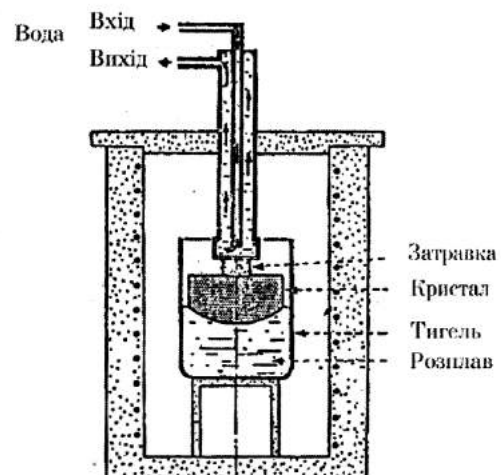


Рис. 9. Вирощування кристала способом витягування



плаву підібрані так, щоб перед початком росту поверхня затравки була трохи розплавленою. Лише така свіжа поверхня забезпечує утворення монокристала.

Щоб позбутися нерівнобічного росту, зумовленого асиметрією розподілу температури, затравку зазвичай обертають. Однак обертання затравки може вплинути на деякі властивості кристала, як було виявлено в монокристалах Si. Після того, як досягнуто потрібного діаметра кристала, тримач піднімається із швидкістю, яка забезпечує постійний діаметр. Оскільки збільшення довжини кристала збільшує тепловий опір, потрібно збільшувати швидкість охолодження, або зменшувати температуру розплаву, або виконувати те й інше у процесі росту кристала. Щоб отримати довші кристали, деколи використовують додаткове охолодження кристала зверху чи з боків. Зміна теплових умов у процесі вирощування завдає небажаних впливів на однорідність кристала, проте її не уникають для великих кристалів.

Технологію витягування запропонував Чохральський, а істотно її поліпшили Кіропулос, Хілч і Бауер. Ця технологія широко використовується для вирощування кристалів Ge і Si.

Гradientні способи дуже зручні, оскільки вони не потребують постійного нагляду під час вирощування. Коли напрямленість кристалізації не обов'язкова, відпадає потреба і в затравці. За потреби тигель може бути закритим. Головним недоліком є те, що кристали можуть прилипати до тигля. Слід бути обережним, витягуючи кристал, адже він може розтягнутися чи навіть тріснути. Навпаки, техніка витягування вимагає точного налаштування на початку кристалізації та уваги в процесі вирощування. Проте швидкість росту кристала більша майже у 5 разів, кристал можна легко витягнути, а залишки розчину із зібраними домішками використати.

Спосіб плавлення у полум'ї

За цим способом, що запропонував Вернейль, речовина подрібнена речовина у малих кількостях просіюється і втягується в пальник потоком кисню. У киснево-водневому полум'ї частинки розплавлюються і застигають на кристалі-затравці або на керамічному тримачі, розігрітому до високої температури. Речовина мусить бути однорідною; слід уникати перегрівання (рис. 10). Кристали діаметром майже 2 см вирощуються за 4–5 год.

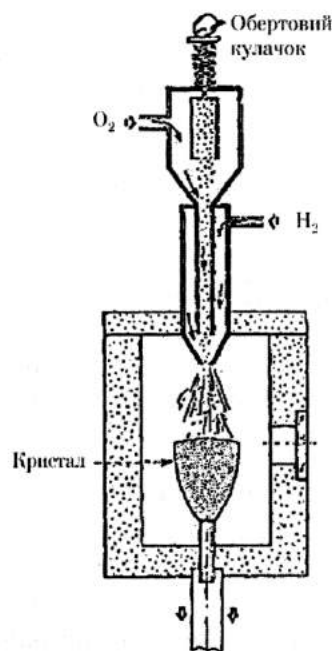


Рис. 10. Вирощування кристала способом плавлення у полум'ї

Ця технологія використовується переважно у виробництві штучних коштовних каменів (корунд, рубін, сапфір, шпінель, рутил тощо).

Вирощування рекристалізацією

При деформації (від 1 до 3 відсотків) полікристалітних твердих тіл (із кристалітами майже 0,1 мм), розігрітих майже до температури плавлення, та повільному їх охолодженні утворюються великі монокристали. Таким способом були вирощені монокристали Al, Cu, Fe, Mg, W і Zn. Цей процес повільний і використовується лише для виробництва кристалів у вигляді пластин. Отже, його практичне застосування обмежене.

Волоконні кристали

Волоконні кристали діаметром декілька мікрон і завдовжки до 1 см були відомі вже давно, але недавно знову привернули до себе увагу, оскільки стали причиною виходу з ладу конденсаторів з кадмієвими пластинами. Подальше вивчення показало, що волокна можуть утворюватися у Cd, Sn або у Zn за нормальних атмосферних умов. Гідростатичний тиск (7500 фунтів/квдратний дюйм) підвищує швидкість їх росту в 10^4 разів. Волокна Ag, Cd, CdS, Hg і Zn можна вирощувати осадженням на поверхні пірексу або розплавлен-



ного кварцу, а волокна йонних кристалів (NaCl) – випаровуванням води з пористих площин, просочених насиченим розчином солі. Звичайно волокна ростуть у формі прямих стрижнів, але за певних умов вони можуть набувати гвинтоподібної або полігональної форми. Щоб пояснити ріст волокон, припустили, що кожне волокно генерується гвинтовою дислокацією. Однак фотографії волокон, отримані за допомогою електронного мікроскопа, показують, що ріст спостерігається біля основи волокна, а не на його вершині, на що можна було сподіватися, опираючись на дислокаційну теорію.

Синтез алмазу

За нормальних умов графіт є стабільним різновидом вуглецю, водночас як алмаз є нестабільним. Висновок про це можна зробити на основі меншої теплоти згоряння та положення потрійної точки графіту при 4000 °K та 100 атм. Із фазової діаграми (рис. 11) видно, що для перетворення графіту на алмаз потрібно щонайменше 12000 атм. за високої температури (майже 3000 °C).

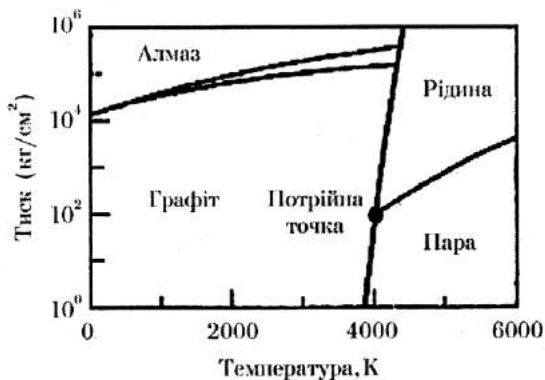


Рис. 11. Фазова діаграма вуглецю (за Банді)

Упродовж останніх 60 років спроби синтезувати алмази робили знову і знову. Група науковців із General Electric Research Laboratories нещодавно досягла успіхів у вирощуванні синтетичних алмазів діаметром майже 1 мм, використовуючи температури до 3000 °C і тиск майже 100000 атм. Для перевірки кристалів проведено оцінювання їх твердості, показника заломлення ($n = 2,419$) та X-променеві вимірювання; хемічний аналіз виявив лише 86% вуглецю, вказуючи на дуже великий вміст домішок. Ми ще далекі від виробництва досконалих кристалів алмазу, здатних конкурувати з природними алмазами.

Вирощування з пари

З'ясувалось, що пара забезпечує оптимальні умови росту кристалів. При випаровуванні не допускається взаємодія з розчинником чи розплавом, атоми чи молекули можуть вільно осідати на тверду затравку. Поверхнева рухливість дає змогу атомам впорядковуватись у певну кристалічну ґратку. Цей спосіб (рис. 12) використовувався для вирощування кристалів деяких металів та сульфіду цинку.

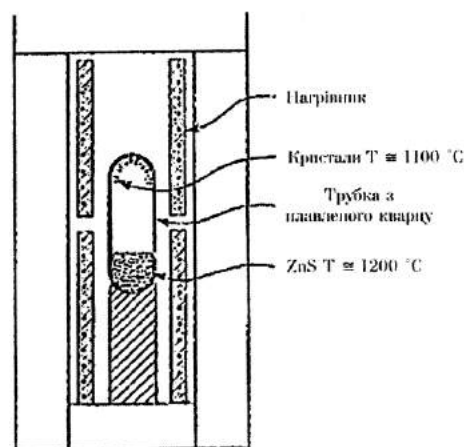


Рис. 12. Вирощування ZnS з пари

Найвідомішим прикладом природного росту кристалів з пари є утворення кристалів снігу. Встановлено й описано умови утворення великої різноманітності їхніх форм.

Метод газотранспортних реакцій

Вирощування кристалів сполук у результаті реакції компонентів у парі зображено на рис. 13.

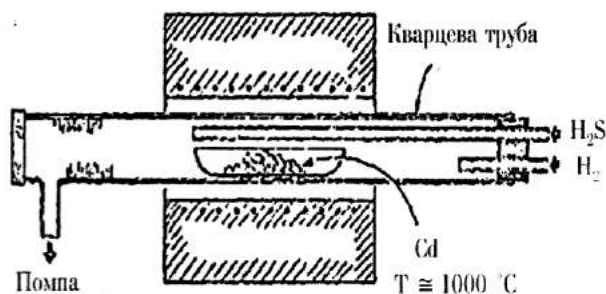


Рис. 13. Вирощування кристалів CdS методом газотранспортних реакцій



ФІЗИКА ДЛЯ МЕДИЦИНИ:

НИЗЬКОІНТЕНСИВНА ЛАЗЕРНА ТЕРАПІЯ

Ярослав Боднарчук, Ярослав Довгий, Іван Пила

Важливим і перспективним напрямом у сучасній лазерній фізиці й техніці є розроблення та впровадження нових методів медичної діагностики і терапії з використанням унікальних можливостей когерентного випромінювання.

Широко відомі успіхи з використанням лазерів у різних напрямках хірургії, коли потужний лазерний промінь використовується для розтину, перфорування, зварювання і коагуляції біологічних тканин. Основою спостережуваних ефектів є теплова локалізована дія випромінювання на тканину, хоча неможливо вилучити у деяких випадках і менш тривіальні механізми, що зумовлені нерівноважним енергетичним станом молекулярної системи, яка поглинає високопотужне випромінювання.

Значний інтерес викликають успіхи у використанні когерентного світлорозсіяння та голографічної інтерферометрії для досліджень об'ємної структури живих тканин і для створення лазерної томографії й інтроскопії. Ці галузі обіцяють новий прорив у медичній діагностиці. У цих випадках передбачається пасивна поведінка тканини під променем, коли відсутня біофізична дія світла на об'єкт.

Широко відома бактерицидна і бактериостатична дія випромінювання у фіолетовій і ультрафіолетовій ділянках спектра, що використовується для стерилізації відкритих ран і виразок. Модифікація цього процесу з використанням сенсibilізаторів дала змогу перевести руйнівну дію УФ-випромінювання у зручніший видимий діапазон, локалізуючи дію випромінювання у потрібному місці. Цей спосіб лежить в основі широко відомого прогресу в лазерній терапії злоякісних утворень. Лікувальна дія цього явища спирається на первинні фотохімічні процеси, що ініціюються збудженою молекулою сенсibilізатора і породжують цілий ланцюг внутріклітинних реакцій з

відмиранням злоякісної клітини. Детальний механізм цих процесів поки не з'ясований, але фотохімічна природа первинної дії світла не викликає сумнівів.

Ще більше проблем є з механізмом терапевтичної дії низькоінтенсивного лазерного випромінювання. Лікувальний ефект лазерів видимого і ближнього інфрачервоного діапазонів нині відомий і активно популяризується у цій галузі лазерної медицини. Однак біофізичний механізм терапевтичної дії когерентного випромінювання ще до кінця не з'ясований.

Історія використання низькоінтенсивного лазерного випромінювання в медицині почалась з моменту створення лазерів, хоч перші згадки про цілющу дію сонячного світла на живі організми знаходимо ще в працях Геродота (484–425 рр. до н.е.). Про лікувальну дію світла вказують написи на давніх храмах Єгипту. Сонячні ванни рекомендував знаменитий давньогрецький лікар Гіппократ (460–370 рр. до н.е.). У Давній Греції і Римі сонячні ванни широко використовували як щоденний оздоровлювальний засіб. Для цього на дахах будинків облаштовували спеціальні місця – солярії. Ібн Сіна (Авіценна, 980–1037 рр.) писав, що сонячне світло запобігає усім хворобам.

Наукові дослідження і широке впровадження у щоденну клінічну практику лікування світлом почалося з появою високоенергетичних джерел випромінювання, що забезпечують високу густину потужності на заданій довжині хвилі, тобто лазерів.

Одним з перших в українській медицині, хто звернув увагу на широкі перспективи використання лазерів, був М. Гамалея, автор однієї з перших монографій на цю тему.

До низькоінтенсивних терапевтичних лазерів, що використовуються в медичній практиці, відносяться лазери видимого діапазону (переважно



He-Ne лазери з довжиною хвилі випромінювання 0,6328 мкм), а також лазери близького інфрачервоного діапазону (серія напівпровідникових лазерів з довжиною хвилі від 0,6 до 1,3 мкм) із середньою потужністю 25÷40 мВт або дещо більшою з використанням приладів з матричними головками, середньою густиною потужності потоку 10 мВт/см². Ці прилади відносяться до низькоінтенсивних, оскільки не зумовлюють деструкції біоматеріалу.

Дія лазерів вказаних типів ґрунтується на фізіологічних виявах клітинного рівня:

- зміна структури нуклеїнових кислот;
- збільшення швидкості синтезу білка та швидкості поділу клітин;
- підвищення активності йонів кальцію у клітинах;
- трансформація відгуку лімфоцитів на імунноіндукуючі фактори;
- розширення судин;
- бактерицидний і бактериостатичний ефекти.

Ці процеси забезпечують системні реакції організму таких типів:

- активація біосинтезу;
- підвищення життєздатності клітин;
- підсилення імунопотенції;
- покращення кровообігу;
- прискорення загоєння ран і виразок.

Отже, в основі лазерної біостимуляції лежать фотобіологічні механізми, зумовлені як хвильовими, так і квантовими властивостями світла. Якщо під біостимуляцією розуміти процеси ціленапрявленого регулювання швидкості метаболізму, що здійснюється за допомогою дії низькоінтенсивного когерентного випромінювання, то очевидно, що природа цього процесу зводиться до впливу світлової енергії на молекулярний рівень організації біологічного об'єкта. Взаємодія випромінювання з біотканинами визначається довжиною хвилі, дозою та інтенсивністю світлової дії. Фотовплив на організм (клітини) має сигнальний характер і передбачає запуск „триггерних” механізмів. Аналіз чинників, що стосуються природи лазерного біостимулювання, дає змогу зробити висновок, що за наявності різних меха-

нізмів сприйняття і передачі енергії в організмі спостерігаються позитивні чинники в процесах метаболізму, зниження рівня гіпоксії² у тканинах, а в результаті підвищується рівень життєдіяльності організму, зростає його відпирність до несприятливих чинників довкілля, розширюються межі його адаптації.

Вагомі результати експериментальних досліджень щодо можливостей застосовувати лазерну терапію швидкими темпами впроваджуються в практичну медицину як у нашій країні, так і за кордоном. Понад три десятиріччя, що минули відтоді, як було зроблено перші спроби застосувати лазери у медицині, дали позитивні результати. Нині дослідження з використанням лазерного випромінювання оформились у спеціальну наукову галузь – фотобіологію та фотомедицину, яка поділяється на низку напрямів. Лазерна низькоінтенсивна терапія у багатьох клінічних ситуаціях дає змогу досягти результатів, неможливих при застосуванні інших методів.

Львівський медичний інститут (нині Львівський державний медичний університет ім. Данила Галицького) був одним з перших серед медичних установ України, де розпочали досліджувати біологічну та лікувальну дію лазерного випромінювання. Учені медичного інституту спільно з ВО „Полярон” розробили перші українські серійні фізіотерапевтичні установки на базі газових лазерів, а також методики лікування з їхньою допомогою. Виробниче об'єднання ще в 1970-х роках налагодило серійний випуск He-Ne лазерів, які широко використовували у медико-біологічних дослідженнях, а згодом застосовували у медичній практиці під час лікування різних захворювань (у стоматології, дерматології, акушерстві й гінекології, травматології і ортопедії, кардіології тощо).

Враховуючи сучасні вимоги до медичної апаратури, у СКБ ВО „Полярон” (нині ТзОВ „Львів-Електроніка”) на базі серійних He-Ne лазерів розроблено низку лазерних фізіотерапевтичних апаратів, які пройшли технічні й медичні випробування та рекомендовані Міністерством охорони здоров'я для застосування у медичній практиці. Це апарати фізіотерапевтичні лазерні АФЛ-1 (на

¹Метаболізм (від грец. *metabole* – зміна, перетворення) – обмін речовин, у цьому випадку проміжне перетворення певних речовин у клітині під дією когерентного випромінювання.

²Гіпоксія – зниження вмісту кисню („кисневе голодання”) в окремих органах і тканинах організму.



Основні характеристики
деяких лазерних терапевтичних установок

Лазерна установка	Тип базового лазера	Довжина хвилі, мкм	Потужність генерації, мВт	Область застосування
АФЛ-1	He-Ne	0,633	20	фізіотерапія, акупунктура, хірургія, стоматологія, дерматологія
АФЛ-2	He-Ne	0,633	25	фізіотерапія, акупунктура, хірургія, стоматологія, дерматологія
АФДЛ-1	He-Ne, Ga-As	0,633; 0,85	25; 10	фізіотерапія, акупунктура, хірургія, стоматологія, гінекологія, проктологія, дерматологія
АКЛР-1	He-Ne, Ga-As	0,633; 0,85	2; 5	фізіотерапія, акупунктура, стоматологія, дерматологія
АЛОУ-1	He-Ne	0,633	2	кардіологія, фізіотерапія, акупунктура

базі лазера ЛГН-75-1), АФЛ-2 (на базі лазера ЛГН-120), апарат фізіотерапевтичний діагностичний АФДЛ-1, апарат фізіотерапевтичний двохвильовий лазерний АФДЛ-2, апарат комбінований лазерної рефлексотерапії АКЛР-1, лазерний апарат опромінення крові АЛОУ-1. Основні технічні характеристики перелічених приладів подано в таблиці.

Типові схеми, за якими конструюють більшість лазерних фізіотерапевтичних установок, зображені на рис 1. Основним елементом таких схем є газовий або напівпровідниковий лазер (1) з джерелом живлення (4). Низка методик лікування передбачає пульсуюче за певним законом лазерне випромінювання, для чого в схему вводять модулятор (2). Підведення променя до ділянки патології (7) здійснюється за допомогою просторової сканувальної системи (3) або гнучкого моноволоконного світловода (8).

На рис. 2 і 3 зображено фізіотерапевтичні установки виробництва фірми „Львів-Електроніка”.

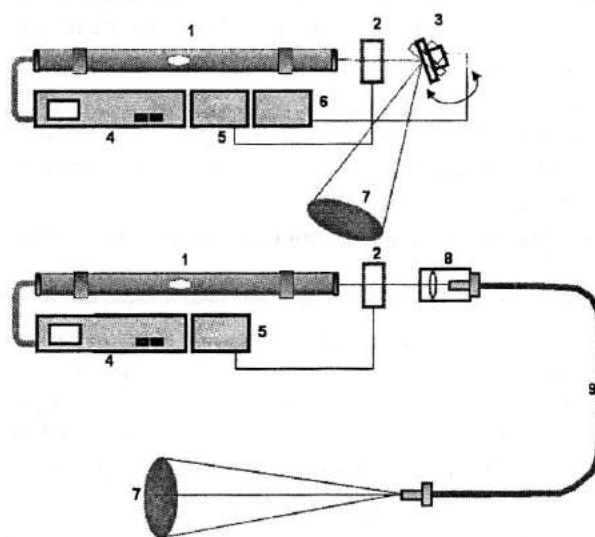


Рис. 1. Типові блок-схеми фізіотерапевтичних лазерних установок: 1 – лазер; 2 – модулятор випромінювання; 3 – сканувальна система; 4 – джерело живлення лазера; 5 – пристрій керування модулятора з таймером; 6 – пристрій керування сканером; 7 – ділянка патології; 8 – вузол вводу лазерного випромінювання у світловод; 9 – гнучкий моноволоконний світловод

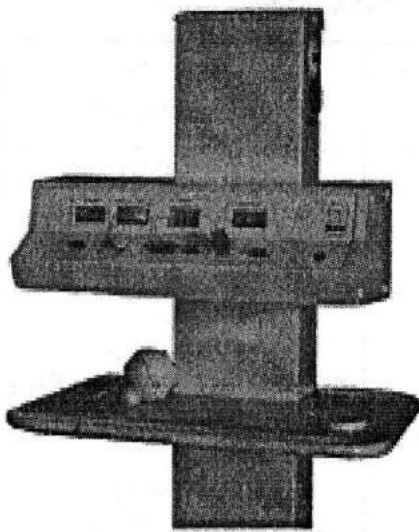
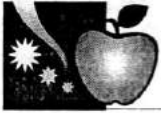


Рис. 2. Апарат фізіотерапевтичний АФДЛ-1

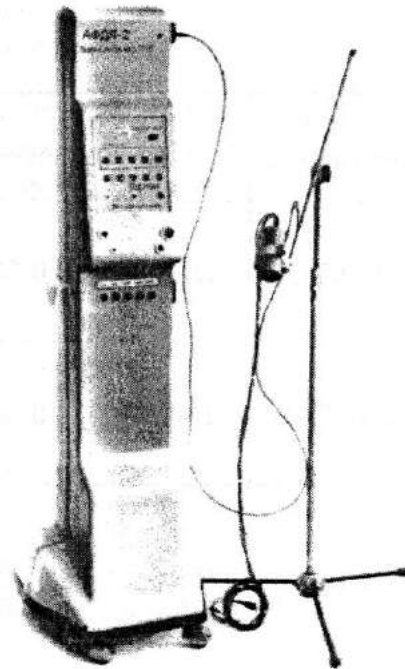


Рис. 3. Апарат фізіотерапевтичний АФДЛ-2

що успішно експлуатуються в медичній практиці. За допомогою цих приладів лікують захворювання у стоматології (карієс, пульпит, пародонтоз), дерматології (лишаї звичайні, алергічні васкуліти), кардіології (ішемічна хвороба серця) тощо.

Серед актуальних завдань, що стоять перед лазерною терапією, слід, на наш погляд, виокремити такі:

- вивчення фундаментальних фотобіологічних механізмів впливу лазерного випромінювання на організм;
- розроблення засад медичної класифікації лазерів;

– медико-технічне обґрунтування нових лазерних терапевтичних установок і параметрів лазерного впливу на організм людини;

– розширення сфери застосування лазерів у медицині;

– підготовка фахівців з лазерної медицини, зокрема, лазерної терапії.

Отже, лазерна терапія інтенсивно розвивається як у плані медико-біологічного обґрунтування, так і в плані інженерно-технічних напрацювань. Лазерні технології у лікуванні різних захворювань – це наше сучасне і майбутнє медицини.

У січні 2003 року виповниться 100 років від дня народження видатного українського фізика, дійсного члена НТШ, професора Остапа СТАСІВА. З цієї нагоди відбудеться ювілейна міжнародна конференція „Фізика процесів у середовищах для оптичного запису інформації”.

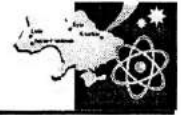
Конференція відбудеться 16–17 січня 2003 року на Львівщині (батьківщині ученого), Львівському національному університеті імені Івана Франка.

Тематика конференції:

- Життя і наукова творчість проф. Остапа Стасіва.
- Класичні фотоемульсійні матеріали.
- Безсрібні оптичні носії інформації.
- Цифрова фотографія.
- Голографія.

Заявки на участь у конференції надсилати до 15 грудня 2002 року на адресу:

Проф. Я. Довгому, вул. Кирила і Мефодія, 8 м. Львів, 79005, Україна



До 100-річчя від дня народження
О.І. Казимирчак-Полонської

ПОЛОНСЬКА – ІМ'Я ЗЕМНЕ І НЕБЕСНЕ

Алла Корсунь,

Головна астрономічна обсерваторія
НАН України

Творча вдача відомого теоретика з небесної механіки, дослідника руху комет, доктора фізико-математичних наук Олени Іванівни Казимирчак-Полонської дещо нагадує далеку чи то легенду, чи то реальну історію, яку описав знаменитий популяризатор астрономії Н.К. Фламаріон (1842–1925), і стосувалася вона передбачення появи комети Галлея 1758 р. Потрібні формули для обчислення появи комети вивели відомі астрономи Клеро й Лаланд, а величезну обчислювальну роботу виконала вручну (тоді ще не було електрообчислювальних машин) чарівна пані Лепот – дружина відомого паризького механіка. На честь пані Лепот квітку, яку привезли з країн Сходу, назвали Гортензія – одне з імен невтомної трудівниці.

А майже за два сторіччя на честь Олени Казимирчак-Полонської, дослідниці руху комет, одна із малих планет Сонячної системи була названа „Полонія”. Це вже не легенда.

Завдяки теоретичним розрахункам О. Казимирчак-Полонської американські астрономи відшукали комети, які „загубили” спостерігачі. Учена дослідила рухи комет за 400 років і визначила, як впливають на рух комет збурювальні дії великих планет, своїми розрахунками підтвердила гіпотезу про захоплення комет Сонячною системою. Її праця була удостоєна престижної наукової премії ім.Ф.А. Бредихіна, всесвітньо відомого



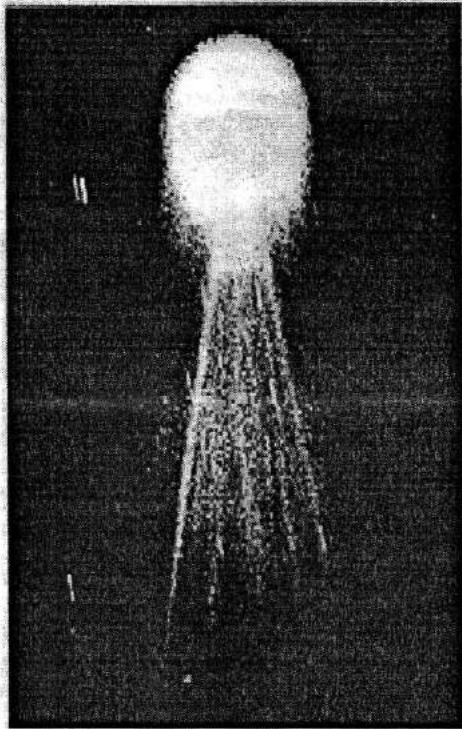
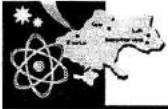
О. Казимирчак-Полонська
(Світлина 1930-х років)

дослідника комет. Ім'я Олени Казимирчак-Полонської широко відоме і шановане серед світової астрономічної спільноти. Вона була членом Міжнародного астрономічного союзу (МАС). Яскравою подією в астрономії став міжнародний форум-симпозіум МАС „Рух, еволюція і походження комет”, який відбувся у серпні 1970 року в Ленінграді (нині Санкт-Петербург), організатором якого була Олена Казимирчак-Полонська.

Хто ж ця жінка, яка була сучасницею цілого сторіччя, що переплітало людські долі „червоними і чорними нитками”.

Народилася Олена Казимирчак-Полонська 8(21) листопада 1902 року в м. Селець Володимирського повіту Волинської губернії у сім'ї Івана та Євгенії Полонських, власників невеликого маєтку. Олена на відмінно закінчила гімназію у м. Луцьку на Волині 1920 року, добре володіла, крім української, польською, російською, німецькою та англійською мовами. Життєві обставини змусили Олену після гімназії піти працювати до канцелярії Луцького суду, а також допомагати хворій матері доглядати за маєтком.

1922 року Олена Казимирчак-Полонська блискуче склала вступні іспити і вступила на фізико-математичний факультет Львівського університету, після закінчення якого працювала у Львівській астрономічній обсерва-



Комета Вольфа

торії, а з 1932 року – в Астрономічній обсерваторії Варшавського університету. Тоді Волинський край входив до складу Польщі. У Варшаві на талановиту і старанну асистентку звернув увагу відомий учений, патріарх Польської наукової школи з небесної механіки професор М. Камінський і запросив Олену до аспірантури.

Небесна механіка – один із найскладніших розділів теоретичної астрономії і під силу лише здібним та наполегливим. Темою дисертації О. Полонської було вивчення руху комет у період захоплення їх великими планетами Сонячної системи. Дисертацію „*O ruchu planetocentrycznym komet*” на здобуття ученого ступеня доктора філософії Олена успішно захистила 1934 року.

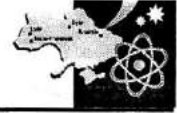
1935 року доля поєднала Олену з Леоном Казимирчаком, ученим-іхтіологом, який теж працював у Варшавському університеті, 1937 року в них народився син Сергій. Це була щаслива пара гарних, талановитих людей, сповнених ентузіазму і великих творчих задумів. Та війна зруйнували всі плани...

На війні пропав без вісті Л. Казимирчак, а на руках Олени Іванівни залишився маленький син і хвора мати. В роки війни Олена працювала то у

Львові, в астрономічній обсерваторії, то займалася приватним викладанням математики у Варшаві, куди переїхала 1944 року, але мріяла повернутися в Україну і поселитися десь у теплих південних районах, бо це так було потрібно хворим синові і матері. Мрія здійснилася, та, як кажуть, „сталося не так, як гадалося”. У травні 1945 року Олена Іванівна переїхала до Херсону й влаштувалася на роботу в Херсонському педінституті, спочатку лаборантом, а згодом старшим викладачем кафедри математики. Мешкала вона з сином і матір'ю у комунальній квартирі більше схожій на хлів із земляною підлогою. Щоб звести кінці з кінцями працювала по 17 годин на добу і водночас готувала до захисту кандидатську дисертацію, бо її польський диплом доктора філософії в СРСР не визнавали.

Доля готувала їй нові удари. За нез'ясованих обставин 1948 року у херсонській лікарні помер син Сергій. Щоб втекти від душевних мук і заглибитися у наукову роботу, Олена Іванівна прийняла запрошення директора Інституту теоретичної астрономії АН СРСР член-кореспондента АН СРСР М.Ф. Субботіна й переїхала на роботу до Ленінграда. Там вона завершила роботу над дисертацією і успішно захистила її 1950 року. Перед ученою розкрились перспективи масштабних досліджень руху комет та люба серцю викладацька робота в Ленінградському педагогічному інституті ім. М. Покровського.

Та доля знову завдала їй удару. Під час „сталінських чисток” і боротьби з „ворогами народу” у листопаді 1951 року її звільнили з роботи нібито за скороченням, але вона ще викладала в педінституті. 1952 року О. Казимирчак-Полонську заарештували за „шпигунську діяльність” і кинули до в'язниці. Проте за відсутністю доказів невдовзі її звільнили. Однак про влаштування на роботу у Ленінграді не могло бути й мови. Олена Іванівна повернулася до Херсону, де дізналася, що під час перебування у тюрмі її мати померла у психіатричній лікарні. Після нетривалого перебування в Херсоні та роботи в Херсонському суднобудівному технікумі О. Казимирчак-Полонська переїхала до Одеси і в 1953–1956 рр. викладала в Одеському педагогічному інституті фізику, математику та астрономію. В Одесі вона організувала астрономічний гурток ім. Ф.А. Бредихіна і займалася улюбленою науковою справою.



Праця, яку вона задумала вимагала великих обчислень, її можна було здійснити лише в центрі досліджень з небесної механіки в Інституті теоретичної астрономії у Ленінграді. Робота стосувалася дослідження рухів комет, цих загадкових й примарних об'єктів Сонячної системи, і мала відповіді на запитання: звідки беруться комети – чи вони народжуються в Сонячній системі, чи це залишки протопланетної речовини, чи міжзор'яні утворення, захоплені Сонячною системою. 1956 року Олена Іванівна переїхала до Ленінграда і вже в не дуже молодому віці влаштувалася в Інститут теоретичної астрономії на посаду молодшого наукового співробітника Відділу малих планет, комет і супутників. Вона опанувала нові для неї справи: складала програми для обчислення на електронно-обчислювальних машинах, на перфокартах, готувала величезний обсяг даних про рух комет за 400 років.

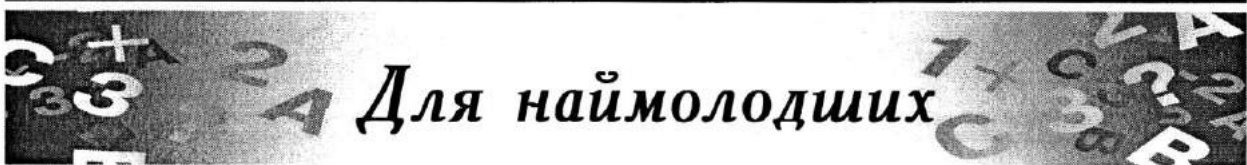
Спираючись на власні методики та програми, Олена Іванівна розробила неперервну числову теорію руху дуже цікавої комети Вольфа за весь сторічний (1884–1984) період її спостережень. Водночас готувала монографію, опублікувала велику кількість наукових праць, а 1968 р. захистила докторську дисертацію „Теорія руху короткоперіодичних комет і проблеми еволюції їх орбіт”. Це була праця світового значення. Того ж року учену нагородили премією ім. Ф.А. Бредихіна.

Упродовж усього періоду своєї наукової і педагогічної діяльності Олена Іванівна багато сил і енергії віддавала роботі з аспірантами, багато з яких згодом стали відомими ученими в наукових і навчальних закладах України, Росії, Польщі та інших країнах. У своїх учнях Олена Іванівна намагалася виховати виняткову відповідальність і сумлінність, наукову етику й високу мораль, навіть самопожертву в ім'я добра інших. Саме такі риси були притаманні й Олені Іванівні.

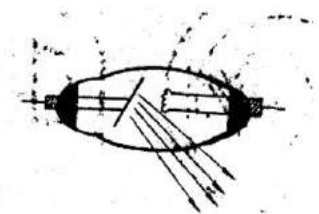
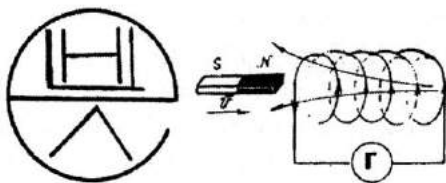
Нелегкі роки життя далися взнаки. Олена Іванівна втратила зір, але не піддалася відчаю. Маючи добру пам'ять, вона вирішила викладати у Ленінградській академії теології, бо в серці давно мала велику віру в Бога. Останні свої праці вона диктувала помічницям і публікувала під псевдонімом *Zakonnica Helena*.

Померла Олена Іванівна Казимирчак-Полонська 30 серпня 1992 року і похована на цвинтарі видатних астрономів на території Пулковської обсерваторії.

Українська земля пам'ятає свою талановиту доньку з Волині. Саме у Кримській астрофізичній обсерваторії була відкрита мала планета 2006, яку назвали „Полонія”. У виданні „Жіночі постаті в українській науці” (Календар на 2002 рік, Київ), а також у книзі „Імена України у космосі” (Київ, 2002) серед яскравих особистостей гідне місце відведено Олені Іванівні Казимирчак-Полонській.



Відгадайте з цих малюнків прізвища відомих фізиків



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



До 130-річчя від дня народження
Мар'яна Смолуховського



Романтик науки

„Кожний, хто ближче знав Смолуховського, цинив у ньому не лише швидкий розум, а й шляхетну, тонку і доброзичливу людину.”

Альберт Айнштейн

У травні 2002 року виповнилося 130 років від дня народження видатного фізика початку ХХ сторіччя Мар'яна Смолуховського. Цю дату відзначила наукова громадськість світу, зокрема були проведені наукові конференції у Великобританії (Кембридж), Польщі (Варшава, Краків), з'явилися книжки, інші публікації про ученого та його наукові здобутки.

Львівський національний університет імені Івана Франка пишається, що у ньому працював та отримав вагомні наукові здобутки один з найвидатніших фізиків початку ХХ сторіччя Мар'ян Смолуховський. Працюючи саме у Львівському університеті, учений зробив великий внесок у розвиток фізичної науки.

Наукова діяльність М. Смолуховського охоплювала багато галузей фізики. Найважливіші його досягнення стосуються кінетичної теорії матерії, вони мали переломне значення для розвитку теорії атома, позаяк істотно вплинули на розв'язок суперечки між прихильниками і противниками цієї теорії.

Мар'ян Смолуховський народився 28 травня 1872 року у Вордербрюлі поблизу Відня у сім'ї державного службовця Вільгельма Смолуховського і Теофіли Щепановської. Батько його пра-

цював у канцелярії цесаря Франца Йосифа. Мати була освіченою жінкою, любила музику і цю любов передала синові, який добре грав на фортеп'яно. Сім'я Смолуховських була заможна і, звісно, дітям дали добру освіту. Мар'ян навчався у славетній віденській Терезіанській гімназії (1880–1890), яку закінчив з відзнакою. Після закінчення гімназії, Мар'ян вступив до Віденського університету, де поглиблено вивчав фізику і математику, зацікавлення до яких йому привили ще в гімназії. В університеті М. Смолуховський слухав лекції відомих фізиків: С. Больцмана, Дж. Стефана, Ф. Екснера, Е. Маха та інших. В університеті М. Смолуховський виявив себе здібним науковцем. Його дисертація „Акустичні дослідження пружності м'яких матеріалів” була відзначена найвищою відзнакою – нагородою імені Імператора.

Упродовж декількох наступних років М. Смолуховський відвідав центри фізичної науки Парижа, Глазго і Берліна. У Парижі він працював над теоретичними та експериментальними аспектами теплового випромінювання в лабораторії Г. Ліпмана. Згодом разом з Дж. Бітті і лордом Кельвіном у Глазго вивчав вплив рентгенівських та „ядерних” променів на електропровідність газів. Учені мали декілька спільних публікацій. У Глазго (червень,

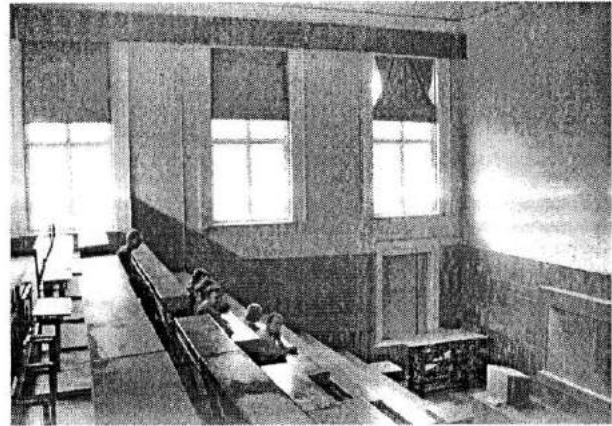


1901 р.) Смолуховський під час святкування 450-річчя цього жуніверситету отримав (*honoris causa*) почесний ступінь доктора права. Згодом учений стажувався у лабораторії Еміля Варбурга у Берліні. Там він експериментально й теоретично вивчав внутрішнє тертя у газах. Працюючи у цій лабораторії, Смолуховський торкнувся засад кінетичної теорії матерії, і це мало вирішальний вплив на його майбутню наукову діяльність.

3 травня 1898 року М. Смолуховський обійняв посаду приват-доцента Віденського університету, а 24 серпня 1898 року переїхав до Львова і розпочав працювати асистентом Львівського університету (нині Львівський національний університет імені Івана Франка). Навесні 1900 року, після смерті професора Оскара Фабіяна, у 27-річному віці, М. Смолуховський очолив кафедру теоретичної фізики університету. Учений на той час був наймолодшим професором в Австро-Угорській імперії. Рік по тому він отримав ступінь асоційованого професора, а 1902 р. – (повного) професора. Під час наукової відпустки (у серпні 1905 р.) М. Смолуховський відвідав лабораторію професора Дж. Дж. Томсона у Кембриджі. Варто зазначити, що учений активно контактував із багатьма відомими фізиками (чимало з них стали Нобелівськими лауреатами з фізики, наприклад, А. Айнштайн, Дж. Дж. Томсон, Г. Ліпман, Е. Резерфорд), мав з деким із них спільні публікації. 1906 року М. Смолуховського обрали деканом філософського факультету Львівського університету.

Щасливим для ученого був 1901 рік, він одружився з Зофією Баранецькою, донькою професора математики Ягеллонського університету. Вони мали доньку Альдону і сина Романа (син також став відомим фізиком, працював у США).

Напередодні Першої світової війни (у травні 1913 р.) М. Смолуховський переїхав до Кракова, очоливши кафедру експериментальної фізики Ягеллонського університету після Августа Вітовського, який тривалий час саме у ньому бачив свого наступника. А невдовзі вибухнула війна – умови праці різко погіршилися. Навіть новозбудована простора і сучасна будівля кафедри фізики, де Смолуховський сподівався працювати, була зайнята військовими і перетворена у шпиталь. За таких умов, Смолуховський змушений був працювати у помешканні недавно померлого професора



Велика фізична аудиторія Львівського університету, де напочатку ХХ сторіччя студенти слухали лекції М. Смолуховського

Кароля Ольжевського. Читаючи лекції, учений не мав навіть найпростішого обладнання для демонстрації експериментів.

До Кракова М. Смолуховський прибув уже добре відомим і визнаним у світі фізиком. У його науковому доробку були фундаментальні праці з кінетичної теорії матерії, праці про флуктуацію густини в газі, з опалесценції газів поблизу точок фазових переходів, праці про блакитний колір неба як наслідок розсіювання світла на неоднорідностях в атмосфері, з пояснення броунівського руху, а також він сформулював рівняння, які отримали його ім'я.

За неповних чотири роки своєї краківської діяльності учений виконав дослідження, про яке згодом видатний астрофізик Субрахманьян Чандрасекар написав, що воно є підґрунтям теорії стохастичних процесів. У Ягеллонському університеті Смолуховський викладав експериментальну фізику, написав частину „Довідника для студентів-аматорів”, присвячену фізиці, виховав чудових учнів: Йозефа Патковського, Станіслава Лорія, Вацлава Дзевульського.

16 червня 1916 року М. Смолуховського обрали деканом філософського факультету Ягеллонського університету, а 15 червня 1917 р. – ректором цього ж університету. Однак учений не встиг навіть виголосити підготованої інавгураційної промови „Про єдність природних засад”, оскільки передчасно, у 45-річному віці, помер від дизентерії під час епідемії (5 вересня 1917 р.).



В історії фізики Мар'ян Смолуховський посідає чільне місце як учений, який зробив вагомий внесок у доведення атомістичної теорії будови матерії. Сьогодні небагато пам'ятають, що ще на початку ХХ сторіччя „молекулярна гіпотеза” вимагала доведення, й що її перше експериментальне підтвердження ґрунтувалось на теоріях броунівського руху, критичної опалесценції, кольору неба, флуктуацій, які створив М. Смолуховський.

Мар'ян Смолуховський, якого без перебільшення можна назвати одним із засновників статистичної фізики, – це не лише історія. Після Смолуховського залишилися рівняння, які досі є потужним інструментом для фізиків, хоча тепер ці рівняння інакше виводять й інакше впроваджують у теорію загалом. Як писав Марк Кац, математик, теоретичне підґрунтя і методика розрахунків, використаних у згаданих досягненнях М. Смолуховського, стали основою статистичної фізики, зокрема, її нової галузі, теорії стохастичних процесів. Новизна й оригінальність підходу Смолуховського полягає у заміні складної динамічної задачі простим стохастичним процесом. Динамічне явище трактується так, ніби воно було наслідком випадковості (кидання грального кубика), і водночас правдоподібність усіх можливих варіантів визначається (певною мірою) законами механіки. Ця ідея виявилась надзвичайно плідною і глибоко вкоренилась у статистичній фізиці; вкоренилась настільки глибоко, що небагато хто з нас усвідомлює те, що багато відгалужень „новітньої проблематики” можна простежити в ідеях, які висував колись Мар'ян Смолуховський.

Одним з найвпливовіших досягнень Мар'яна Смолуховського був його аналіз другого закону термодинаміки і „механічного демона Максвелла”. Він вказав на просту систему, у якій за певних умов простежується макроскопічний рух її частинок, хоча на самі частинки в середньому не діє жодна сила. Рух є наслідком спільного впливу асиметрії системи і „конструктивного” впливу термічних флуктуацій, або шумів. Зазвичай шум і флуктуації вважають за шкідливі збурення, а насправді з'ясувалося, що вони можуть містити в собі творчий, конструктивний характер, що зумовлює чи підсилює процеси, які неможливі за умови відсутності шумів.

Системи частинок, які підлягають броунівському рухові, є добрими моделями певних біохімічних реакцій, які відбуваються у простих комірках живих організмів, зокрема в людей, і які потрібні для правильного функціонування цих організмів.

Опрацьована Смолуховським теорія критичної опалесценції, особливо констатування того, що поблизу точок фазових переходів флуктуації можуть охоплювати всю макроскопічну систему, зумовила виникнення таких важливих галузей фізики, як теорія критичних явищ і група ренормалізації. Певним узагальненням теорії критичних явищ є також концепція самоорганізованих критичних явищ, або синергетика, яку застосовують для опису багатьох фізичних, біологічних і соціальних процесів.

Найважливішим внеском Смолуховського у сучасну науку є рівняння, які було названо його іменем. Рівняння Смолуховського нині є одними з фундаментальних рівнянь у теорії стохастичних процесів. Відомо також, якими є обмеження щодо їх застосовності. Їх використовують у багатьох галузях, наприклад, у нелінійних стохастичних процесах, квантових процесах, для опису процесів седиментації та коагуляції, у теорії хемічних дифузійних реакцій, а впродовж останніх років і щодо таких проблем, як кінетика гетеродинамічного електронного переносу, ба навіть для аналізу дії токсинів бактеріологічного походження, а також в інформаційній термодинаміці. Висновки і формули, які одержав М. Смолуховський і досі описують часову поведінку зіткнень частинок за умов, обмежених дифузією (наприклад, таких, що „прилипають” одна до одної). Таку поведінку нині називають типом поведінки Смолуховського.

Постає запитання, чому вчений європейського рівня, маючи широкі міжнародні зв'язки, перед яким відкривалася блискуча наукова перспектива, обрав місцем своєї праці Львівський, а згодом Краківський університети, адже тоді ці університети не були провідними центрами фізики в Європі?

Напевно, М. Смолуховський, вихований з дитинства у польських культурних традиціях, обрав саме Львівський та Краківський університети через те, що навчання там велось польською мовою. Учений, зокрема, писав: „Я усвідомлюю те, що у Відні я б мав сприятливіші умови для



власного наукового розвитку і знаю, що міг би там створити більше... Я б міг жити власне для наук, ба, навіть вичерпати би всі свої зусилля, щоб як наступник Стефана Больцмана і Гасенорля (видатний фізик, який загинув під час Першої світової війни) виправдати покладені на мене надії. Фактично це є егоїзм, але дещо відмінний від того, який зазвичай розуміють під цим словом."

Мар'ян Смолуховський дуже любив гори, був завзятим альпіністом, долав вершини Альп і Карпат, любив кататися на лижах, малював аквареллю, любуючись гірськими пейзажами*. Він був великим шанувальником театру і мистецтва, знавцем класичної музики.

Як згадувала дружина ученого, „він вважав себе „романтиком”, а відповідно таким типом дослідника, який прагнув розв’язати багато таємниць водночас, який ніколи не знаходив спокою. Ці характерні риси його духу пояснюють те, що понад дев’ятдесят праць, які він опублікував, стосуються дуже широкого кола наукових дисциплін. Це була справді „романтична” методика праці, вкрай неекономічна... Романтик! Надто легка річ, надто очевидна, у його очах не знаходила місця, так само, як зелені доступні узвишшя... проти піків на скелях і крутих прірв..."

М. Смолуховський любив свою родину, де черпав „неперервний струмінь щастя”, який давав наснагу для реалізації всіх прагнень і планів.

Старший на чотири роки брат Тадеуш був найвірнішим приятелем і товаришем у перших гірських походах. Ось спогад про братів: „Смолуховські – ці яскраві особистості насправді наче б то зліплені з однієї глини, непересічна прямолінійність робила їх гірськими друзями, на яких завжди можна було покластись... До людей вони ставились з незвичною простотою і безпосередністю, зі скромністю, яка захоплювала.” Про свої спостереження природи учений дописував до журналу „Альпініст”, 1911 року його обрали головою туристичної секції Татринського товариства. Про захоплення ученого гірськими походами можна говорити багато, втім наведемо декілька характерних прикладів.

Як згадував професор ботаніки у Львові М. Рациборський „близько полудня, коли експедиція в

погану погоду опинилась в улоговині під Говерлою, Смолуховський раптом щось пригадав, глянув на годинник і сказав, що того ж самого дня увечері у Львові засідання, в якому він мусить взяти участь. А щоб встигнути на залізничну станцію у Ворохті, він мусить, за розрахунками, проходити кілометр за 8–9 хв. Він вирушив без зволікань у дорогу, а разом з ним уся експедиція – понад 30 осіб. Але поряд з тим, як Смолуховський регулярно відмірював свої кілометри, щоразу більша кількість людей відставала, не в змозі витримати темпу. До станції у Ворохті зі Смолуховським дійшло тільки четверо людей. ... Один лише Смолуховський не був змучений, свіжий і задоволений, що здійснив спортивне досягнення і завдяки цьому зможе взяти участь у вечірніх зборах."

Учений завжди дотримувався правил гірських експедицій, він ніколи не використовував свого становища професора. Беручи участь у гірських походах разом зі студентами, він чергував як і всі інші, „був професором серед студентів, проте у походах був їхнім товаришем”.

Якою людиною був М. Смолуховський?

„Приваблива, піднесена постать, засмагле, ніби вирізьблене з бронзи обличчя із високим чолом, завжди глибоко замислене, з прикритими вустами, що знаменують повагу й твердість позицій, вустами, які тільки зрідка розпливались у погодню усмішку”, „... чарівний шарм його особи, його незрівнянний спокій, сміливість й лагідний гумор, феноменальна орієнтація на місцевості та якась неначе надлюдська височина, яка з нього випромінювалась..."

Працьовитий, дисциплінований у роботі, Смолуховський представляє свої погляди прецизійним і сухим висловлюванням: „Якщо, за поширеною думкою, у вузькоспеціалізованій односторонній спеціалізації простежуються ознаки сучасних методів досліджень, то я маю взагалі ставитись до фізиків давньої школи, або моїм особистим схильностям відповідає праця у найрізноманітніших галузях фізики, і причому спираючись на поняття границі, інтегралу і диференціалу, так само, як і за допомогою токарного верстата та напилка... Мені важливіше те, щоб не втратити поглядів на цілісність і брати участь у поступі по всьому напрямку..."

Учений приділяв велику увагу освіченості суспільства: „Ентузіазм до правди, фанатичний дар

*Акварелі М. Смолуховського дивіться на 4 сторінці обкладинки.



до ретельності і правди – це є етичні засади, які відповідають цим наукам (природничим) і ними підсилені. Вони борються з блефом і банальністю, хворобами, які підточують наше суспільство і деформують нашу літературну мову. Мусимо визнати, що наше традиційне виховування є значною мірою причиною добре нам знайомої суспільної анемії і схильності до бюрократичної формалістики; воно може викликати захоплювання пасивним естетичним спогляданням, або літературною тужбою за давно минулими часами. Не це нам потрібне! Продрімали ми в стані летаргії багато десятків років, тоді як світ рухався далі в швидкому темпі. Зараз саме час, щоб ми зорієнтувались, що живемо у XX сторіччі, і щоб викували собі зброю, якою боряться сьогодні, тобто освіченість у науках, обізнаність у законах природи, технічне знання, економічну винахідливість.”

Якими актуальними залишаються і нині слова великого ученого!

Велику увагу приділяв Смолуховський молоді. Його вплив на молодь був величезний, і він не потребував багато слів для того, щоб скеровувати її туди, де хотів... Він не вагався, вже будучи деканом і ректором Ягеллонського університету, аби вдягнути червоний каптур і разом зі студентами сісти у човен за весла на Віслі. На веселих виправах Академічного спортивного товариства Вісли він веселився з повною віддачею разом з молоддю...” Він „...провадив її духом, цілим своїм чудовим еством...”



Однак Мар'ян Смолуховський не створив наукової школи. Надто вже простим видається висловлювання професора Костянтина Закжевського: „Коли я був студентом у Лорентца, часто поставало запитання, чому Лорентц не створив наукової школи. Отож, Лорентц, формулюючи комусь проблему, вже під час її обговорення сам її розв'язував, так, що кандидат задля докторської дисертації небагато вже мусив допрацювати самостійно. Завдяки цьому він не занурювався у рутину під час розв'язання невідомого в науці. Так само діяв М. Смолуховський, сам розв'язуючи проблему, хоча це не є методика, притаманна для молодих людей, і мав він причину, чому своєї школи не створив.”

Мар'ян Смолуховський був головою Товариства природознавців імені Коперника (1906–1908), член-кореспондентом Академії мистецтв і наук у Кракові (1908). Академія мистецтв і наук у Відні нагородила ученого премією Людвіга Гайтінгера за теорію броунівського руху.

Наукова спадщина Мар'яна Смолуховського актуальна й досі. На праці ученого посилаються в підручниках, монографіях, статтях, незважаючи на те, що його остання праця з'явилась 1917 р. Постать Мар'яна Смолуховського найповніше представлена у монографії Арміна Теске, професора фізики університету ім. М. Складовської-Кюрі в Любліні. Вже у 20-х рр. XX ст. Польська академія мистецтв у Кракові опрацювала наукову спадщину Мар'яна Смолуховського. Було зібрано понад 90 праць у трьох томах, які з'явилися у 1924, 1927 і 1928 рр. До нинішнього ювілею ученого з'являються книги та інші публікації у різних країнах світу, зокрема, вийшли з друку книги: Subrahmanyan Chandrasekhar, Mark Kas, Roman Smoluchowski. *Marian Smoluchowski. His life and scientific work.* – PWN, 2000. 144 p.; *Marian Smoluchowski (1871–1917). Fizyk, taternik – romantyk nauki.* – Krakow, 2002; Габович О. *Першовідкривач теплового руху атомів і молекул // Вісник НАН України.* 2002. № 5 та інші.

Галина Шопя



Шведська Королівська Академія Наук нагородила Нобелівською премією з фізики 2002 року Раймонда Давіса (Raymond Davis) із Пенсильванського університету (штат Філадельфія, США) і Масатоші Кошібу (Masatoshi Koshiba) з Токійського університету (Японія) за детектування нейтрино та X-променів позаземного походження і Рікарда Джаконі (Riccardo Giacconi) з Асоціації університетів (Вашінгтон, США) за відкриття космічних X-променів.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

2000

**Творці
сучасної
електроніки**



Джек Кілбі



Герберт Кремер



Жорес Алфьоров

Джек Кілбі (Jack S. Kilby) народився 1923 року в м. Джеферсоні (штат Місурі, США). Йому виповнилось 22 роки, коли у США створили перший у світі комп'ютер „ЕНІАК”. Місця він займав стільки, скільки займає цех на заводі. Його десять тисяч електронних ламп мали потужність 20 кВт. Для охолодження такого величезного електронного дива довелося збудувати потужну охолоджувальну систему, яка споживала ще 30 кВт. Тобто перший у світі комп'ютер споживав стільки електроенергії, скільки споживають мешканці багатоповерхового будинку. Крім того, одна із десяти тисяч його електронних ламп виходила з ладу майже щопів години. Нагрівники катодів ламп здебільшого перегорали під час вмикання, тому такий пристрій не вмикали впродовж доби. Звичайно, для 1945 року це була дивомашина. Вона у десять тисяч разів рахувала швидше, ніж людина, озброєна арифмометром. Однак потреби учених, що опановували комп'ютер, шораз зростали. Від творців комп'ютера вони вимагали збільшити швидкодію і об'єм пам'яті його хоча б у десять разів. Фантасти вже змальовували машину-велетня, величиною як небосяг, яку живить потужна гідроелектростанція, а охолоджує водоспад, подібний до Ніагарського. Однак інженери розуміли: такий велетень працювати не зможе. Машина, яка 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-променевоїх трубок, які використовувались як елементи пам'яті. Заміну знайшли: замість електронно-променевоїх трубок застосували пам'ять на феритових осердях, а замість ламп – транзистори. У 1950-х роках електронно-обчислювальні машини вже займали не велику залу, а звичайну кімнату і споживали в десятки разів меншу електричну потужність. Швидкодія машин і їхня пам'ять зросли не в десять разів, а в тисячі. На той час комп'ютери переставали бути унікальними витворами науки і техніки ХХ сторіччя, які виготовлялись в одиничних екземплярах. Вони мали все ширше і ширше застосування у наукових розрахунках, у керуванні виробничими процесами, банківській справі. Життя високорозвинутих країн вимагало все більше й більше і ще досконаліших комп'ютерів.

Інженерові Дж. Кілбі було лише 26 років, коли настав його зоряний час. Разом з іншими Дж. Кілбі працював над тим, як заставити один фізичний елемент виконувати декілька операцій. Врешті-решт йому вдалося на одній мініатюрній пластинці кремнію розташувати декілька транзисторів та з'єднати їх в електричну схему. Для цього він



тонку пластинку кремнію накрив маскою-трафаретом з отворами, через які ввів активуючі домішки одного типу, потім узяв іншу маску і через інші отвори ввів домішки іншого типу, створивши в пластинці кремнію ділянки р- і n-провідності. Через третю маску він наніс на пластинку золоті доріжки, які з'єднали електроди транзисторів. Через четверту маску вчений наніс шар діелектрика, крізь п'яту – доріжки, що слугували резисторами електронної схеми, а далі знову ізолюючий шар і знову провідні доріжки, які з'єднали електронну схему з електродами корпусу, в якому вона розміщася. Тепер в одному корпусі розмістили не окремий транзистор, а цілу електронну схему, тобто увесь вузол комп'ютера. Мікросхема в інтегральному виконанні зображена на рис. 1.

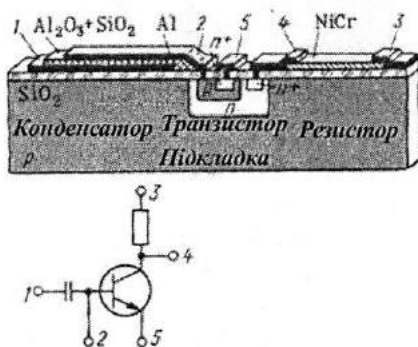


Рис. 1.

Сотні транзисторів разом з підключеними до них резисторами вдалось розмістити на одному квадратному сантиметрі кремнієвої пластинки і можна було виготовляти сотні таких мікросхем в одному технологічному циклі (рис. 2).

Транзистори інтегральної мікросхеми спрацьовували значно швидше, ніж звичайні транзистори, а це означало, що комп'ютер, побудований на таких схемах, здатний за секунду виконувати майже півмільярда арифметичних операцій. Швидкодія зросла завдяки компактності: 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, як видно з рис. 3, менші, ніж головка сірника (мікросхема розташована у центрі, до якого сходяться контактні доріжки).

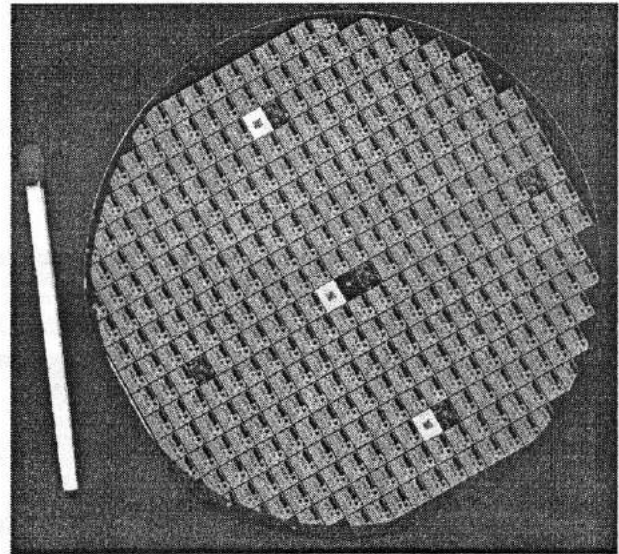


Рис. 2.

Від часу створення „ЕНІАК” минуло лише 15 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 зменшились у сто разів. „І це ще не межа”, – говорив своїм колегам 34-річний інженер Дж. Кілбі, який створив 1958 року першу інтегральну мікросхему.

Те, що це не межа, знав і Роберт Нойс, який сконструював інтегральну мікросхему майже водночас із Дж. Кілбі, згодом один із засновників корпорації „Інтел”. Кілбі і Нойс довго сперечались щодо пріоритету у створенні інтегральної мікросхеми, і як впевнені багато учених, якби Р. Нойс дожив до 2000 року, він також отримав би Нобелівську премію (Роберт Нойс помер 1990 року).

Коли Дж. Кілбі і Р. Нойс вдосконалювали інтегральні мікросхеми, Жорес Алфєров (Zhores Alferov) і Герберт Кремер (Herbert Kroemer) незалежно один від одного працювали над створенням гетероструктур. Гетероструктурою називають кристалічну структуру, в якій на одному кристалі нарощений інший кристал. Очевидно, для того, щоб гетероструктура була досконалою, на межі контакту двох різних матеріалів не має бути значних механічних напружень та інших дефектів. Кристали, які утворюють гетероструктуру, мусять мати близькі параметри кристалічної ґратки та коефіцієнти лінійного розширення. Гетеропереходом називають р-n перехід між напівпро-

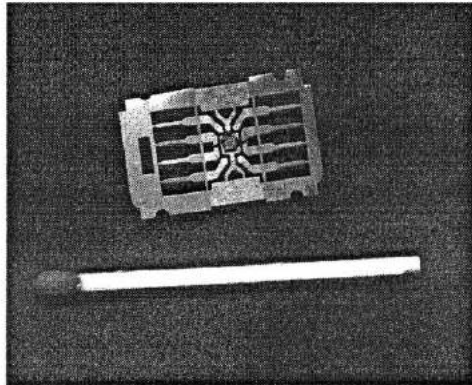


Рис. 3.

відниками з різною шириною забороненої зони, тобто р-п перехід у гетероструктурі. Прикладами гетеропереходів є переходи германій-кремній, германій-арсенід галію тощо. Гетероперехід може бути утворений як між напівпровідниками різних типів провідності (р- і n-типу) так і між напівпровідниками одного типу провідності: n-n або р-р типів. Енергетична діаграма р-п гетеропереходу, в якому ширина забороненої зони діркового напівпровідника менша, ніж електронного, зображена на рис. 4. Її особливістю є те, що потенціальні бар'єри для електронів та дірок на ділянці гетеропереходу різні: потенціальний бар'єр для електронів у зоні провідності менший, ніж для дірок у валентній зоні.

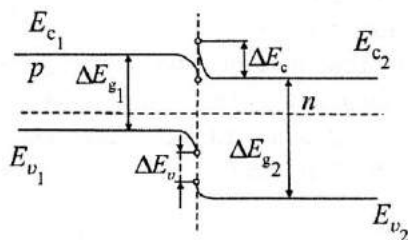


Рис. 4

Прикладаючи до такого переходу електричне поле в прямому напрямку, потенційний бар'єр для електронів зменшується, й електрони інжектуються у р-область. Потенціальний бар'єр для дірок також зменшується, але не настільки. Він залишається досить великим, щоб інжекція дірок із р-області в n майже не відбувалась. А це означає, що під час перемикавання приладу із прямого включення у зворотнє, у ньому не відбувається відносно повільне розсмоктування неосновних носіїв, як у звичайних р-п переходах. Тому час переключення в них суттєво зменшується, що робить їх

привабливими для застосування у високошвидкісній електроніці. На це звернув увагу Г. Кремер, 29-річний фізик німецького походження, який після здобуття ступеня доктора наук у Геттінгенському університеті (1952), працював у науковій лабораторії радіокорпорації Америки (RCA). Г. Кремер 1957 року запропонував створити гетероструктурний транзистор, вважаючи, що він працюватиме на значно вищих частотах, ніж найдосконаліші звичайні транзистори. Згодом Г. Кремер перейшов на викладацьку роботу: у 1959–1966 рр. працював професором фізики в університеті Колорадо, а після 1968 – у Каліфорнійському університеті.

Створення гетероструктурних транзисторів дало змогу освоїти ще коротші діапазони електромагнетних хвиль, а це космічний і стільниковий зв'язок, високороздільна радіолокація. І в цьому велика заслуга Г. Кремера.

Структури з гетеропереходами виявились перспективними і для створення світлодіодів та напівпровідникових лазерів. 1963 року Ж. Алфьоров запропонував створити напівпровідниковий лазер з використанням гетероструктур.

Жорес Алфьоров народився 15 березня 1930 року у м. Вітебську (Білорусь). Після закінчення Ленінградського електро-технічного інституту (1953), почав працювати у Фізико-технічному інституті АН СРСР. За участю Ж. Алфьорова були розроблені перші транзистори і силові германієві діоди. Наприкінці 1950-х років була висунута ідея використовувати у напівпровідникових приладах гетеропереходи, однак багаторазові спроби створити такі прилади не дали очікуваних результатів. Причина невдач полягала у складності виготовлення якісних гетероструктур. Однак Ж. Алфьоров вірив у перспективність гетероструктур. В основу своїх технологічних досліджень він поклав епітаксціальні методи (нарощування гетероструктур з газової фази) і йому вдалось разом із колегами не лише отримати гетероструктури, близькі за властивостями до ідеальної моделі, а й створити перший у світі напівпровідниковий гетеролазер (1968), який працював у неперервному режимі при кімнатній температурі.

Для таких застосувань найкраще підходять гетероструктури потрійної сполуки $Ga_{1-x}Al_xAs$. Зі зростанням x – кількості заміщених атомів ширина забороненої зони зростає від $E_g \approx 1,4$ eV (GaAs) до $E_g \approx 2,1$ eV (AlAs).



А це дає змогу змінювати довжину хвилі випромінювання від 0,89 до 0,59 мкм. Утворене внаслідок рекомбінації носіїв заряду світлове випромінювання поширюється в усіх напрямках. Воно частково поглинається в напівпровідниковій структурі, розсіюється на межі шарів та металізованих електродах. Щоб збільшити вихід світла, світлодіоди конструюють так, щоб забезпечити направленість випромінювання. Для цього в конструкції світлодіодів застосовують відбивні металізовані поверхні та гетероструктури (рис. 5). У такому приладі світло випромінюється у напрямку, перпендикулярному до площини p-n переходу. Це дає змогу зменшити діаметр пучка світла і збільшити ефективність введення випромінювання в світловоди. Ширина спектра випромінювання світлодіодів становить майже 50 нм, і вони використовуються у фотозчитувачах, системах передачі й відображення інформації.

Напівпровідникові лазери водночас подібні до світлодіодів та інших типів лазерів, але мають такі особливості:

1. Вони мініатюрні, мають малі розміри активної зони і внаслідок цього порівняно велику розбіжність пучка випромінювання.
2. Випромінювальні переходи в напівпровідникових лазерах відбуваються між енергетичними зонами.
3. Накачування активного середовища здійснюється завдяки проходженню струму через лазерний діод, а це дає змогу здійснювати модуляцію випромінювання, змінюючи величину струму накачування.

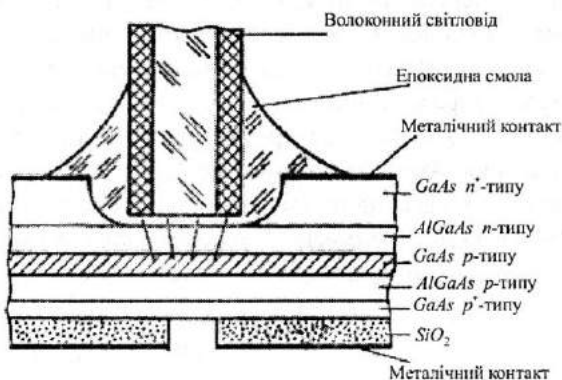


Рис. 5.

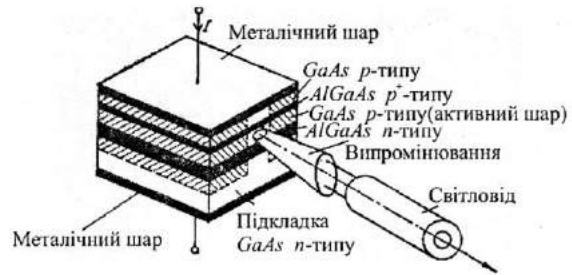


Рис. 6.

На рис. 6 зображена структура лазерного діода на основі сполук $Ga_{1-x}Al_xAs$, що застосовується для введення когерентного випромінювання у волоконні світловоди. Активна зона (GaAs p-типу) у лазерному діоді такої структури, розташована між двома шарами AlGaAs, показник заломлення яких менший, ніж активного шару. Завдяки цьому активна зона має ознаки світловоду для деякої частини генерованого випромінювання. Для формування вузького каналу в активній зоні частину об'єму лазерного діода бомбардують протонами (на рис. 6 ці ділянки заштриховані). Випромінювання виводиться назовні через напівпрозорі дзеркала, які нанесені на грані кристала GaAs. До певної величини струму накачування випромінювання лазерного діода некогерентне, тобто прилад працює як світлодіод. Однак з перевищенням порогового значення струму прилад випромінює світло однієї довжини хвилі й однієї фази, тобто лазерне випромінювання. Випромінювання лазерних діодів має меншу розбіжність, ніж світлодіодів і це дає змогу ввести у волоконний світловод з діаметром 50 мкм майже 50 % лазерного випромінювання.

У 1990-х роках Ж. Алфьоров розпочав дослідження наноструктур: квантових дротинки і квантових точок. У 1993–1994 роках під його керівництвом створено інжекційний лазер на квантових точках, що працює в неперервному режимі при кімнатній температурі.

Сьогодні академік Жорес Алфьоров – директор Фізико-технічного інституту ім. А. Йоффе, віце-президент Російської академії наук, активно займається науковою і викладацькою роботою. Він тісно співпрацює з ученими України, є іноземним членом НАН України.

Олександр Гальчинський



Експериментальна фізика в школі

Валерій Колебошин, Павло Віктор

Ришельєвський ліцей, Одеса

Останнім часом через недостатнє технічне оснащення фізичних кабінетів у школах, ліцеях, гімназіях часто експерименти та демонстрації учитель замінює розповідями з крейдою біля дошки. Із програми шкільного курсу якимось непомітно зникають лабораторні та фронтальні роботи, а про фізичний практикум взагалі забули. Однак фізика все ж залишається експериментальною наукою. Її досягнення, як і раніше, спираються на мистецтво спостерігати та узагальнювати. Важливим є вміння проводити достовірні вимірювання та опрацьовувати результати.

Нехай у Вас не складається враження, що опанування експериментальною майстерністю – це вміння працювати зі складною апаратурою (осцилографи, багатофункціональні вимірювальні пристрої, інша „розумна” електроніка). Це зовсім не так! Експериментальна майстерність – це якраз протилежне. Це вміння отримати максимум інформації, маючи мінімумом обладнання. Тут ми маємо парадоксальну ситуацію: бідність фізичного кабінету – джерело плідних ідей.

Основи експериментальної творчості, разом з теоретичними основами фізики, потрібно закладати на перших етапах пізнання цієї науки. Адже лише в молодому віці є змога розвинути інтуїцію – тільки в дитинстві, „пощупавши фізику власними руками”, розумієш її не як набір сухих фактів, а як спосіб найадекватнішого розуміння світу. Якщо цього не буде в дитинстві, то цього не буде ніколи.

Є різні форми ознайомлення, але не навчання школярів, з експериментальними методами фізики. Особливе місце займають: лабораторні роботи, лабораторні спостереження, демонстраційний експеримент, фронтальний експеримент. Однак на лабораторних заняттях школяр має володіти певними навичками, прийомами роботи з експериментальною технікою та розвинутою інтуїцією. Окрім того, оскільки лабораторні заняття проводяться за раніш підготовленими описами та послідовністю виконання, то це позбавляє

дитину творчого підходу та радощів від результатів. А такий емоційний чинник є найефективнішим для навчання та пізнання. Нині оволодіти основами техніки фізичного експерименту школяру дуже складно. Річ у тім, що навчальна програма не передбачає часу для оволодіння теоретичними основами експериментальної фізики. Школяра перед самостійним виконанням експериментальних робіт слід навчити методики проводити вимірювання. Він має оволодіти методами опрацювання експериментальних результатів; вміння самостійно складати план проведення експерименту чи лабораторної роботи; прогнозувати результат експерименту; враховувати вплив побічних явищ та оцінювати їхній внесок у точність вимірюваних величин; оцінювати похибки експериментів; проводити аналіз джерел похибок та усувати їх.

Експериментальна фізика дає простір для розвитку фантазії, кмітливості та інтуїції школяра, виявляє нестандартний хід думок!

Ті школярі, які хоча б трохи володіють переліченими вміннями, здебільшого отримали їх не на уроках, а під час роботи в гуртках.

Через нестачу навчального часу експериментальна фізика в школі стала вигнанкою. Її перенесено на позакласну, гурткову роботу. В цьому звичайно є і деякий позитивний момент. Учитель і школяр не так лімітовані часовими межами як на уроці. Адже під час традиційного уроку, навіть якщо обладнання роздано завчасно, школярі багато часу затрачають на організацію робочого місця. А їм потрібно ще зрозуміти зміст експерименту, продумати його виконання, встигнути опрацювати результати.

Добре відомо, що саме самостійна праця дає школярам змогу якнайкраще засвоювати матеріал. Експериментальні завдання школярі виконують самостійно. Ці завдання мають евристичний характер і тому краще сприяють розвиткові латерального мислення. Розв'язок експериментального завдання школяр має відчувати інтуїтивно.



Здобуття такого рівня експериментальної майстерності – дуже важливий для формування майбутнього фахівця-фізика. Однак ні в школі, ні у вищих навчальних закладах, школярі та студенти, зазвичай, не розв'язують таких завдань. Лабораторні роботи, які виконують у школах, університетах, – це переважно копіювання чужих думок, поганий плагіат, який не формує евристичного мислення та належної експериментальної майстерності: і студенти, і школярі механічно виконують наперед складені інструкції і не задумуються над їхнім змістом. Вони звикають до готових рецептів, а в пізнанні природи готових рецептів не існує.

Роботу, яку ми проводимо з учнями Рішельєвського ліцею щодо вивчення основ експериментальної фізики, умовно можна поділити на такі напрями:

– Навчання генерації ідей для розв'язування завдань.

– Відпрацьовування вмінь враховувати чинники, які перешкоджають вивченню явища, й оцінювати їхню роль.

– Планування експерименту.

– Формування конструкторських умінь, потрібних для виготовлення допоміжного експериментального обладнання.

– Пошук теорій, що адекватно описують результати.

– Обговорення результатів і їх відповідність з теорією.

– Основи теорії опрацювання експериментальних результатів.

– Оцінювання похибок.

Після занять учні складають залік і виконують комплексну дослідницьку роботу. Приклади текстів теоретичного та практичного заліку подамо далі.

Які ж головні вимоги до змісту завдань і що врешті-решт має отримати після їх виконання школяр?

Доступність і простота обладнання так, щоб школяр, по змозі, зміг удома продовжити дослідження, без допомоги учителя. Багаторівневість завдань: школяр зможе виконати самостійно хоча б частину дослідження, а не піти з уроків ні з чим. Завдання має містити елементи, що дають простір інтуїції та змогу виявити ерудицію.

Запропоновані завдання мусили б мати декілька розв'язків. Якість (достовірність і точність) результатів визначається експериментальною майстерністю та рівнем оволодіння теорією явища.

Для прикладу подаємо завдання, які були запропоновані учасникам Міжнародних фестивалів юних фізиків і математиків, Відкритих фізико-математичних олімпіад Рішельєвського ліцею, Соросівських олімпіад.

Під час виконання завдань учасники мали самостійно виготовити експериментальну установку із запропонованого набору матеріалів та обладнання. Щоб створити вимірювальну установку слід було знати властивості тих чи інших матеріалів, фізичну суть досліджуваного явища.

Завдання відбіркових турів фестивалів, відкритих олімпіад та фєсрверка Рішельєвського ліцею

Теорія похибок

1. Розкрийте зміст понять: випадкова похибка, систематична похибка.

2. Під час виконання радіомонтажних робіт застосовують каніфоль чи якийсь інший флюс. Як Ви вважаєте, які з наведених нижче функцій він виконує:

а) знижує температуру плавлення припою;

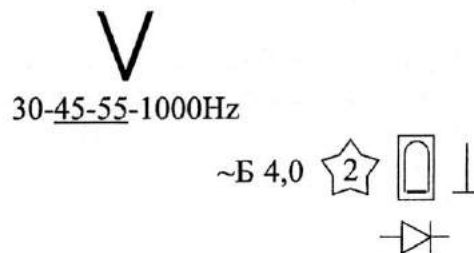
б) запобігає потраплянню повітря до спаюваних деталей;

в) забезпечує стійкість конструкції;

г) очищує поверхню спалюваних деталей від окисів.

3. За допомогою настільних терезів та мензурки отримали такі результати: маса тіла 195 г, маса найменшої наважки в наборі важків 1 г; об'єм тіла 25 см³, ціна поділки мензурки 1 см³. Знайдіть абсолютну та відносну похибки визначення густини матеріалу тіла за цими даними.

4. На шкалі електровимірювального приладу є такі позначки.



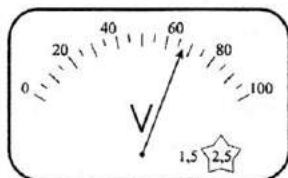
Опишіть, як користуватися таким приладом, яке його призначення та характеристики.

5. Що називають абсолютною похибкою вимірювання і межею абсолютної похибки? Яку з цих



величин ми розраховуємо під час опрацювання експериментальних результатів?

6. В яких межах є істинне значення напруги, яку вимірює зображений на рисунку вольтметр?



7. У чому перевага відносного методу визначення фізичної величини перед абсолютним? Наведіть приклади реалізації відносного методу вимірювань.

8. Визначіть клас точності амперметра, якщо відомо, що допустима похибка приладу $\pm 0,2$ А, а межа вимірювань 5 А.

9. Яку величину вважають похибкою в шкільних терезах?

10. Під час визначення питомого опору провідника з використання реохорда, амперметра, вольтметра, рулетки, мікрометра та акумуляторів, отримали такі результати: $U = (3,0 \pm 0,1)$ В, $I = (0,50 \pm 0,05)$ А, $l = (100,0 \pm 0,5)$ см, $D = (0,30 \pm 0,01)$ мм.

Похибка вимірювань якої з цих величин найбільше впливає на точність визначення питомого опору? Відповідь аргументуйте.

11. Запишіть формулу для обчислення абсолютної похибки під час багаторазових вимірювань.

12. Що називають „промахами” в експерименті, як їх знайти та оцінити?

13. Як знайти абсолютну та відносну похибки непрямих вимірювань, якщо вимірювана величина визначається через інші: $z = x/y$, які визначають під час прямих вимірювань?

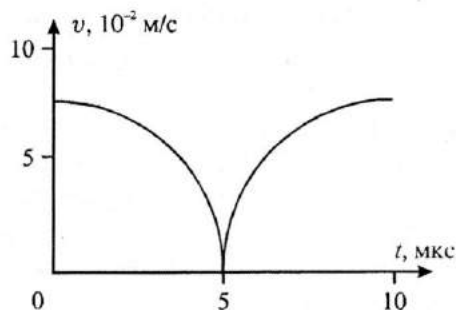
14. Потрібно отримати опір 50 Ом, з'єднуючи паралельно два резистори з опором 100 Ом. Відносна похибка опору 50 Ом не має перевищувати 1%. Які граничні похибки (у %) мають бути у резисторах з опором 100 Ом.

Теорія опрацювання експериментальних результатів

1. Під час випробування термопари отримали такі результати (див. табл.). Перевірте узгодженість даних. Що означає точка перетину графіка з віссю ординат? Яку додаткову інформацію можна отримати з цього графіка? Які фізичні величини можна визначити?

$t, ^\circ\text{C}$	термоЕРС, мВ
-6,7	0,42
3,4	0,81
15,5	1,15
26,6	1,54
37,7	1,93

2. На рисунку зображено залежність швидкості тіла від часу $v(t)$. Побудуйте цей графік у координатах $a(t)$, де a – прискорення тіла. Яку ще додаткову інформацію можна отримати з цього графіка?



3. Під час досліджень нелінійної схеми отримано таку залежність:

Напруга, В	Струм, А
67,7	2,46
65,0	2,97
63,0	3,45
61,0	3,96
58,25	4,97
56,25	5,97

В яких координатах така залежність має графік у вигляді прямої лінії? Якою емпіричною формулою описується ця залежність? Доведіть за допомогою графіка, що Ваш вибір правильний.

4. На стадіоні семеро школярів вимірювали середню швидкість свого однокласника на дистанції 100 м. Кожен школяр користувався своїм секундоміром з ціною поділки 0,2 с. В одному й тому ж забігу вони отримали значення часу, подані в таблиці.

Школяр	Час, с
1	12,3
2	12,0
3	12,2
4	12,2
5	11,9
6	12,3
7	12,1

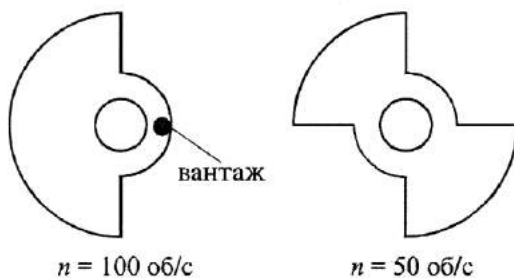


В яких межах перебуває істинне значення середньої швидкості хлопчика, якщо точність, з якою виміряно стометрову дистанцію на стадіоні, дорівнює 50 см?

5. Вам пропонують набір експериментальних даних, які неухвально студент записав у довільній послідовності, причому забув вказати задану та вимірювану величини. А йому треба встановити закон відповідності цих величин. Допоможіть студентові розв'язати цю проблему. Ось ці дані: 600; 98; 400; 145; 320; 255; 900; 800; 700; 66; 500; 201.

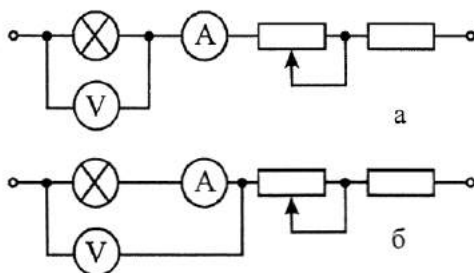
Методика експериментальної техніки

1. Для дослідження швидкодії фотоелементів треба сконструювати пристрій, який формуватиме прямокутні імпульси світла з постійного світлового потоку. Частота чергування імпульсів 100 Гц. У Вашому розпорядженні є два двигуни з частотами обертання 50 та 100 обертів за секунду із закріпленими на валах непрозорими дисками з прорізами (див. рис.).



Який з двигунів Ви оберете? Обґрунтуйте свій вибір.

2. Якому із запропонованих нижче вимірювальних кіл Ви надасте перевагу для визначення опору нитки розжарення лампочки від кишенькового ліхтарика з робочою напругою 2,5 В? Обґрунтуйте свій вибір.



3. Для вимірювань опорів застосовують місток Вінстона (наведіть його схему). Як у такій схемі

усунути вплив термоЕРС та забезпечити точність вимірювання порядку 10^{-4} ?

4. Що, на Вашу думку, у дослідах Йоффе–Міллєна є основним джерелом похибок у визначенні величини елементарного заряду? Вкажіть можливі шляхи їх подолання.

5. У Ваших ручних (аптечних) терезах на одній з чашечок обірвалась нитка, яка утримувала чашку. Вам довелося вкоротити нитку на третину її початкової величини. Чи зміниться точність таких терезів? Якщо так, то у скільки разів? Якщо ні, то чому?

Завдання на експериментальну кмітливість, методику проведення експерименту та оцінювання результатів

1. У Вашому розпорядженні є: однакові кульки, нитки, рідкий діелектрик, ебонітова паличка, шерстяна хустинка, штатив, проєкційний апарат, екран, масштабна лінійка. Як за допомогою цього обладнання виміряти діелектричну проникність діелектричної рідини? Як забезпечуватиметься точність вимірювань за Вашою методикою? Яких даних не вистачає для розв'язання цієї задачі? Складіть план проведення експерименту. Поясніть призначення кожного з використовуваних предметів та вибір матеріалу, з якого вони мають бути виготовлені.

2. Вам треба виміряти коефіцієнт дифузії йонів у пористій речовині. Запропонуйте методику цього експерименту та план його проведення.

3. „Труднощі точного вимірювання тиску світла були пов'язані з неможливістю випомпувати з посудини все повітря...” (із шкільного підручника для 11-го класу). Оцініть, наскільки цей вплив був сильним порівняно зі світловим тиском. Чи вдалося б П. Лебеву уникнути цих труднощів, володіючи сучасною вакуумною технікою, яка давала б змогу досягнути тисків 10^{-10} – 10^{-11} мм рт. ст.?

4. У Вашому розпорядженні є термометр зі шкалою 50°C . Під час проведення досліджень Вам треба визначити температуру до 100°C . Який вихід Ви знайдете з такої ситуації?

5. Як за допомогою черевика та секундоміра виміряти об'єм кімнати?

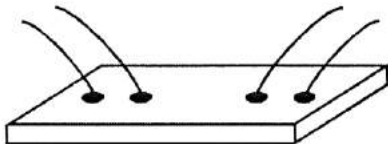
6. Як оцінити розмір капіляра медичного термометра, якщо у Вас є лише лінійка та довідник з фізики?



7. Як, знаючи свій зріст, визначити висоту телеграфного стовпа?

8. Чи можна використовувати лід як нагрівальний елемент? Якщо так, то як?

9. Для вимірювання питомого опору напівпровідникових матеріалів застосовують чотиризондовий метод. Для цього на зразок наносять чотири контакти так, як зображено на рисунку.



Чому, на Ваш погляд, не досить двох контактів? У чому полягає ідея методу?

10. Вам потрібно дослідити залежність швидкості випаровування рідини від площі поверхні. Складіть план проведення експерименту. Які заходи Ви вживатимете? Оцініть внесок чинників, що заважають.

11. Деколи на балонах лампочок розжарення з внутрішнього боку можна побачити металеву плівку. Запропонуйте неруйнівний метод визначення товщини плівки та методику дослідження товщини дротинки спіралі лампочки з часом.

12. У лабораторних умовах Вам терміново знадобилось створити розріджену атмосферу для спостереження тліючого розряду. Можливості отримати вакуумну техніку у Вас на цей момент немає. Як вийти з такої ситуації? Що з лабораторного обладнання Ви запропонуєте для цього застосувати?

13. Ви стоїте біля підніжжя схилу, висота якого невідома. З його вершини вилетів дельтапланерист і набирає висоти. Як визначити швидкість набирання висоти, якщо на схилі немає високих будинків і дерев (як вимагають правила безпеки польотів дельтапланів)?

14. Вам треба проградувати шкільний термометр. Рідина, яка заповнює капіляр, Вам не відома. Допоміжного термометра Ви не маєте. Як розв'язати завдання?

15. Ви не маєте ані секундоміра, ані іншого приладу для вимірювання часу. Але Вам треба дослідити залежність періоду коливань математичного маятника від довжини нитки. За допомогою якого прийому можна вирішити це завдання, не використовуючи власного пульсу, як це робив Галілео Галілей.

Завдання на експериментальні тури фестивалів спостережувального туру

1. „Точка Кюрі”

Легенька голка, підвішена на короткій дротинці поблизу магнета, притягується до нього, але не дотикається. Якщо під голку підвести полум'я спиртівки чи свічки, вона перестає притягуватись до магнета і виходить з полум'я. Охолонувши, притягується знову. Поспостережіть за цим явищем та поясніть його. Які фізичні величини Ви зможете визначити з такого експерименту? Проведіть оцінювання чисельних значень характеристик, які описують таке явище.

2. „Оптичні парадокси”

У Вашому розпорядженні є клаптики поліетиленової плівки та друкований текст. Проведіть за їхньою допомогою такі дослідження й поясніть спостережувані результати. Покладіть плівку на друкований текст, а потім піднімайте її у трохи натягнутому стані. Що відбувається з зображенням тексту? Зафіксуйте на деякій висоті над текстом плівку та повільно і плавно розтягуйте її. Що Ви спостережатимете? Порівняйте жорсткість розтягнутої та нерозтягнутої плівок. Оцініть товщину вихідної та розтягнутої плівок.

3. „Пропелер”

Пластикова пластинка розміщена на вісі. Вісь закріплена у торці прямокутного дерев'яного бруска. На бруску є насічки. Якщо по цих насічках провести, наприклад, олівцем, то пластинка починає обертатись. Поспостережіть за цим явищем та поясніть його. Вкажіть основні причини обертання. Як пов'язана віддаль між засічками на дерев'яному бруску зі швидкістю обертання? Які фізичні величини Ви можете визначити під час такого експерименту? Проведіть оцінювання числових значень характеристик, які описують таке явище.

4. „Гойдалка”

Розжарений металевий човник поміщують на поверхню слюдяної пластинки, яка лежить на металевій підкладці. Через деякий час човник здійснює коливальні рухи. Поясніть спостережуване явище. Які основні характеристики Ви введете для опису спостережуваного явища? Яке значення має металева підкладка під слюдяною пластинкою? Чи залежатиме частота коливань від виду речовини човника та його маси?

Умови задач

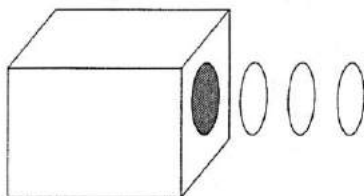
XI Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків

1. „Вигадай сам”

Краплинка олії перебуває у зваженому стані у деякому розчині. Запропонуйте безконтактний метод, який викликав би її зворотно-поступальний рух. Які характеристики олії дають змогу визначити запропонований Вами метод?

2. „Газове кільце”

Зробіть дерев'яний ящик, одна стінка якого мала б круглий отвір, а протилежна – була б затягнена гумою. Під час удару по гумі на виході з отвору утворюється кільцеподібне збурення повітря. Дослідіть процес взаємодії таких збурень при різних швидкостях їх поширень.



3. „Вітроплан”

Аркуш паперу лежить на столі. Якщо подути на нього паралельно до поверхні, аркуш повільно рухається понад столом. Оцініть польотні якості нового транспортного засобу. Чи виникнення вібрацій є небажаним ефектом?

4. „Дим”

Скляну банку з-під майонезу накрийте, наприклад, целофановим ковпаком. У ковпак герметично вставте щільно скручену паперову трубку завдовжки 4–5 см та розташуйте її горизонтально. Якщо підпалити ззовні трубку, то з неї всередину банки „потече” густий дим. Опишіть поведінку струменя диму.

5. „Цікава фізика для чайників”

У книзі Я.І. Перельмана „Цікава фізика” зазначено, що для охолодження чайника за допомогою льоду найдоцільніше поміщати чайник під лід. Доведіть, наскільки такий спосіб ефективніший порівняно з випадком, коли чайник стоїть на льоду.

6. „Загули”

В акустичній системі, що складається з мікрофона, підсилювача та гучномовця, за деяких умов мимовільно починається гудіння. Визначіть умови виникнення такого ефекту. Від чого залежить тон звуку?

7. „Задача Прометея”

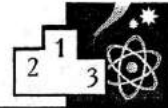
Опишіть з фізичного погляду, як нашим предкам вдавалося видобувати вогонь за допомогою тертя. Оцініть час, який потрібний, щоб видобути вогонь.

8. „Поперед батька – у пекло”

В артистичному більярді існує „удар-обгін”. Куля-снаряд влучає у кулю-мішень, обганяє його та влітає у лунку, а услід за нею у ту ж лунку влітає куля-мішень. Як можна досягти цього ефекту? Опишіть цей ефект кількісно.

9. „Піщаний кратер”

Пісок вузьким струменем сиплеться з висоти 20–30 см на білий аркуш паперу, утворюючи коло, радіус якого зменшується з часом. Знайдіть залежність радіуса кола R від часу та закон розподілу висоти шару піску від відстані r від центра залежно від часу.

**10. „Спекотно-холодно”**

Яким має бути оптимальний кут нахилу черепичного (шиферного) даху, при якому було б забезпечено якнайменше прогрівання повітря на горищі влітку (за умови, що на горищі є вентиляційні вікна), а взимку на даху затримувалося б якнайменше снігу?

11. „Блюз губки”

Поняття „пористості” матеріалу є якісним. Запропонуйте кількісні критерії та експериментальні способи їх перевірки, які дають змогу відрізнити пористий матеріал від непористого. Ефективність запропонованих способів продемонструйте на прикладі губки або пемзи.

12. „Метан”

Каструлю наповнили холодною водою та поставили на газовий нагрівник побутової плити. Незабаром зовнішні стінки каструлі „спітніють”, а ще за деякий час краплинки води з її поверхні почнуть зникати. Опишіть динаміку цього процесу.

13. „Мильні кульки”

Дослідіть час життя мильної плівки у змінному електричному полі.

14. „Вузлик напам'ять”

Довгий ланцюжок підкидають догори. Оцініть імовірність того, що внаслідок руху на ньому утвориться вузол (наприклад, простий вузол).

15. „Каламуть”

Якими фізичними величинами можна визначити те, що у побуті називається мутністю середовища? Як вона залежить від характерних параметрів зависі? Як найпростішу модель можна розглянути поширення світла крізь шар, що складається з кульок з певним показником заломлення у рамках геометричної оптики.

16. „Магнетна взаємодія”

Два кільцеподібних постійних магнети рухаються назустріч один одному. Визначіть просторовий розподіл вектора магнетної індукції навкруги магнетів з отриманих даних їх „розсіювання” один на одному.

17. „Далеке та близьке”

Дивись удаль – побачиш даль,
Дивись у небо – побачиш небо,
Подивившись у маленьке дзеркальце,
побачиш тільки себе.

(К.Прутков, афоризм № 77.
Думки та афоризми. Плоди роздумів)

А що можна „побачити”, якщо розміри дзеркала такі, як довжина світлової хвилі?

Завдання турніру запропонували та підготували:

*І. Анісімов (Київ), П. Віктор (Одеса),
І.Гельфгат (Харків), К. Главацький (Одеса),
А. Камін (Луганськ), А. Мельник (Київ),
В. Колебошин (Одеса), Б. Кремінський (Київ),
В. Кулінський, І. Непашев (Харків),
П. Пшенічка (Чернівці), Р.Степанян
(Нідерланди), Д. Тінітілов (Одеса).*





СУПЕРПЛЯМА

Пропонуємо розв'язок задачі „Суперпляма”, що була на X Всеукраїнському турнірі юних фізиків.

Капніть чорнилом на фільтрувальний папір. Визначіть швидкість розтікання чорнильної плями.

Розглянувши структуру паперу під мікроскопом, ми зауважили, що він складається із ворсинок целюлози, між якими є проміжки. Ці порожнини можна розглядати як квазікапіляри, стінками яких є ворсини целюлози. Ці капіляри в перерізі мають неправильну форму, змінний радіус, крім того, вони розгалужуються, тобто маємо складну капілярну систему, по якій рухається чорнильна рідина. У цьому випадку рух рідини зумовлюватимуть сили поверхневого натягу, сили в'язкості і сила тиску.

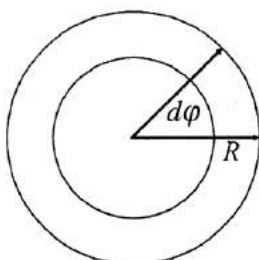


Рис. 1

На рис. 1 зображено ділянку розтікання чорнильної плями. Розгляньмо рух чорнильної рідини в деякому куті $d\varphi$ (рух в інших напрямках такий самий, оскільки промокальний папір зазвичай ізотропний), припустивши що в центр чорнильної плями увесь час надходить чорнильна рідина.

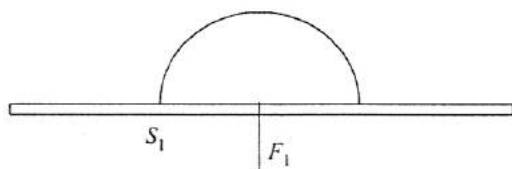


Рис. 2

Запишімо другий закон Ньютона, знехтувавши силою тиску рідини F_1 (рис. 2), оскільки наша

оцінка показала, що ця сила набагато менша від сил поверхневого натягу і в'язкості у капілярах:

$$ma = F_{nn} - F_e. \quad (1)$$

Увівши позначення: ρ – маса чорнила, що припадає на одиницю площі промокального паперу, зволоженого чорнилом; n – кількість капілярів на одиницю довжини промокального паперу; r_0 – усереднений радіус капілярів, масу і прискорення рідини запишімо так:

$$m = \rho \frac{R^2 d\varphi}{2}, \quad a = \frac{d^2 R}{dt^2},$$

а силу поверхневого натягу запишімо:

$$F_{nn} = 2\pi r_0 \sigma N(R) = 2\pi r_0 \sigma nR \cdot d\varphi,$$

де $N(R) = nR \cdot d\varphi$ – це кількість капілярів, по яких рухається межа краплини. Сила в'язкого тертя буде:

$$F_e = \eta \frac{dV}{dr} S,$$

де S – площа бічної поверхні капілярів, по яких рухається чорнило, тобто тих капілярів, які є всередині краплини. Силу в'язкого тертя, яка діє в межах кута $d\varphi$, знайдімо так:

$$\begin{aligned} F_e &= \int_0^R \eta \frac{dV}{dr} (2\pi r_0 \cdot dR) nR \cdot d\varphi = \\ &= \eta \frac{dV}{dr} 2\pi r_0 n \cdot d\varphi \int_0^R R \cdot dR = \\ &= \eta \frac{dV}{dr} \pi r_0 n R^2 \cdot d\varphi = \eta \pi \frac{V}{r_0} n R^2 \cdot d\varphi \end{aligned}$$

Підставивши вирази в (1), отримаємо рівняння:

$$\frac{\rho R}{2} \frac{d^2 R}{dt^2} = n\sigma 2\pi r_0 - \eta \pi \frac{V}{r_0} n R. \quad (2)$$

Для того, щоб відповісти на запитання задачі, потрібно розв'язати цю рівність. Однак аналітич-



ний розв'язок цього рівняння складний, тому спробуємо оцінити швидкість у тому наближенні, що пляма розтікається з малим прискоренням. Цей випадок часто спостерігається під час руху тіл у в'язкому середовищі, наприклад під час руху парашутиста. Тобто у випадку дії сил опору, які збільшуються зі зростанням швидкості, швидкість тіл, які рухаються у в'язкому середовищі врешті-решт стає сталою. Врахувавши це, прирівнюючи праву частину рівності (2) до нуля, знайдемо:

$$V(R) = \frac{\sigma r_0}{\eta R} \quad (3)$$

Зрозуміло, що під час збільшення розмірів чорнильної плями зростає площа поверхні рідини, яка межує з атмосферою, тому слід з'ясувати роль випаровування в цьому процесі. Якщо випаровуватиметься помітна кількість рідини, то може настати такий момент, що при деякому радіусові крапліни, кількість рідини (води, оскільки чорнило водорозчинне), яка надходить у навколишню ділянку $(R_k - R)$, вся випарується, а, отже, далі чорнильна пляма не збільшуватиметься (рис. 3).

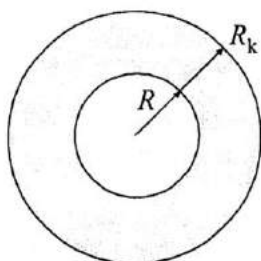


Рис. 3.

Ми експериментально дослідили випаровування води з поверхні промокального паперу при температурі 18° С і 55 % вологості. Експеримент проводився за допомогою торсійних терез, до яких підвішували вологий папір відомої площі й через деякі проміжки часу цей папір зважували – знаходили масу води, яка випарувалася з відомої площі зволоженого паперу за відомий час. Ми встановили коефіцієнт випаровування – об'єм води, який випарується з одиниці площі за одиницю часу:

$$K = 6,7 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \text{с}} \right)$$

Дослідження показали, що цей коефіцієнт залишається сталим упродовж 0–15 хв. Оскільки час розтікання крапліни менший, ми у своїх розрахунках вважали цей коефіцієнт сталим.

Прирівняймо об'єми рідини, які потрапляють у деяку ділянку зволоженого паперу і випаровуються з неї:

$$2\pi R h V(R) = K\pi(R_k - R)^2, \quad (4)$$

де h – товщина паперу, R_k – критичний радіус крапліни. Записуючи рівність (4), ми знехтували власним перерізом ворсинок. Із рівності (4) отримуємо:

$$R_k = \sqrt{\frac{2\sigma h r_0}{K\eta}} + R,$$

де R – початковий радіус крапліни.

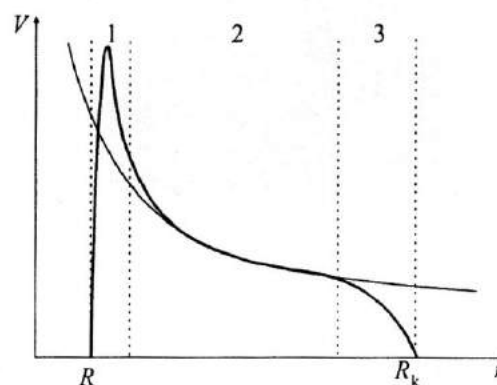
Для

$R = 0,3 \text{ см}$, $h = 10^{-5} \text{ м}$, $r_0 = 10^{-6} \text{ м}$, $\eta = 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ критичний радіус крапліни становить майже 15 см.

Ми з'ясували, що розтікання крапліни можна умовно поділити на три етапи:

- 1) початковий – розтікання з прискоренням;
- 2) рух зі швидкістю, яка обернено пропорційна радіусові крапліни;
- 3) наближення до R_k і зупинка.

Зважаючи на це, графік залежності швидкості меж крапліни від її радіуса матиме вигляд:



Тимур Мамедов,

учень 11-го класу Львівського фізико-математичного ліцею

Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2002 р.

(Умови задач Всеукраїнської олімпіади з фізики за 2002 р.
дивіться у журналі „Світ фізики”. 2002. № 1. С. 34–37)

8-й клас

Задача 1.

Оскільки туристи прибувають на базу одночасно, то кожний з них половину шляху проходить пішки, а половину – їде на велосипеді. Всю відстань до бази туристи долають за час

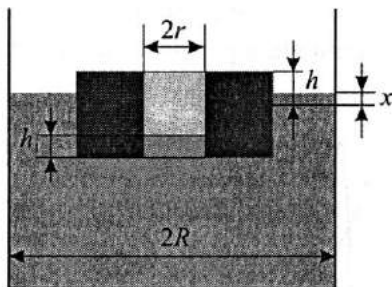
$$t = \frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2} = 5 \text{ год } 20 \text{ хв.}$$

Отже, їхня середня швидкість

$$v = \frac{s}{t} = 7,5 \text{ км/год.}$$

Велосипед не використовувався впродовж половини часу руху туристів, тобто 2 год. 40 хв.

Задача 2.



Тиск води в будь-якій нижній точці кружка має дорівнювати

$$P_a + \rho_b g(H - h),$$

де P_a – атмосферний тиск, а H – висота кружка. З іншого боку, цей тиск має дорівнювати тискові, зумовленому дією сил тяжіння кружка і тискові повітря на кружок, тобто мусить виконуватись рівність

$$P_a + \rho_b g(H - h) = P_a + \rho_d gH.$$

Отже, $\rho_b(H - h) = \rho_d H$.

Під час заливання олії в отвір, оскільки густина олії менша за густину дерева, нижній рівень олії не може опуститися нижче від горизонтальної площини, яка збігається з нижніми точками кружка. Тому з отвору в кружку олія витіснить лише частину води, а товщина шару води h_1 , яка залишилася всередині кружка, має задовольняти рівнянню

$$\rho_b(H - h) = \rho_b h_1 + \rho_o(H - h_1).$$

Глибина занурення кружка у воду змінюватись не може. Отже, одночасно зі збільшенням об'єму залитої в кружок олії рівень води в посудині й кружок підніматимуться одночасно. Тому для шуканої висоти підйому води можна записати рівняння

$$xR^2 = (H - h - h_1)r^2.$$

Розв'язуючи два останні рівняння, знайдемо шукану висоту підйому води:

$$x = h \frac{r^2 \rho_o}{(\rho_b - \rho_o)R^2}.$$

Задача 3.

Лампочка 5 не горітиме, якщо напруга, прикладена до неї, дорівнюватиме нулевій (потенціали точок C і D однакові, рис. 1). Запропоновану схему можна замінити її еквівалентною (рис. 2).

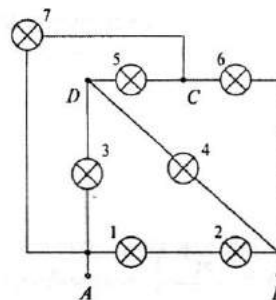


Рис. 1

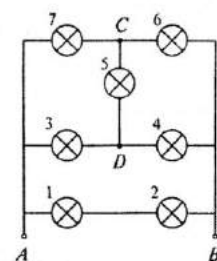


Рис. 2

Зі схеми (рис. 2) видно, що через лампочки 1, 2, 3, 4, 6, 7 за будь-якої напруги між точками A і B проходить струм. Оскільки всі лампочки однакові, то спади напруги на них теж будуть однакові і дорівнюватимуть половині напруги між точками A і B . Тому різниця потенціалів між точками C і D дорівнюватиме нулеві, і струм через лампочку 5 не проходитиме за будь-яких напруг між точками A і B .

Задача 4.

Вважаймо, що потенціальна енергія стрижня на дні моря дорівнює нулеві. У початковому положенні на палубі теплохода механічна енергія стрижня лише потенціальна і дорівнює

$$E_1 = mg(h + H),$$

а на морському дні в момент приземлення зі швидкістю v у вертикальному положенні його механічна енергія дорівнює

$$E_2 = \frac{mv^2}{2} + mg \frac{l}{2}.$$

Зміна механічної енергії дорівнює роботі сили Архімеда

$$E_2 - E_1 = A.$$

Враховуючи, що під час занурення стрижня у воду сила Архімеда змінюється за лінійним законом

$$A = A_1 + A_2 = -\frac{1}{2} \rho_0 g V l - \rho_0 g V (H - l),$$

де V – об'єм стрижня.

Отже, маємо рівняння

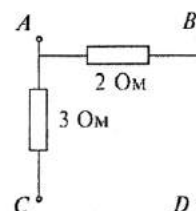
$$\frac{mv^2}{2} + mg \frac{l}{2} - mg(h + H) = -\rho g V (H - l + \frac{l}{2}).$$

Звідси,

$$v = \sqrt{2g[(h + H - l/2) - (H - l/2) \rho / \rho_0]} = 7,89 \text{ м/с}.$$

Задача 5.

Із умови задачі випливає, що клеми B і D з'єднані провідником. Оскільки $R_{AB} = R_{AD} = 2 \text{ Ом}$, опір $R_{AC} = 3 \text{ Ом}$, то $R_{BC} = 5 \text{ Ом}$ і $R_{CD} = 5 \text{ Ом}$ можуть бути одержані при послідовному з'єднанні резисторів опорами 2 Ом і 3 Ом , увімкненими між клемми AB і AC , або AD і AC відповідно.



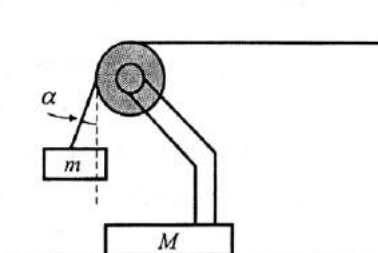
Отже, всередині скриньки містяться резистори опором 2 і 3 Ом , з'єднані між собою так, як це зображено на рисунку.

9-й клас

Задача 1.

Якщо плита почне рухатися з прискоренням, то рівноважне положення нитки, на якій підвішено вантаж m буде відхилене від вертикалі на кут α , який можна знайти з умови

$$\alpha = \text{arctg} \frac{a}{g}.$$



Однак, враховуючи, що початкове положення нитки (вертикальне) було нерівноважне, то вантаж m коливатиметься. Матимемо випадок, подібний на коливання математичного маятника, у якому під час коливань збільшується довжина підвісу, а отже, і період коливань. Важливо, що під час таких коливань сила натягу нитки залежить від фази, у якій перебуває тіло масою m .

Враховуючи такі особливості руху і те, що точний розв'язок задачі не може бути описаний елементарними функціями, ми пропонуємо оцінити шукану віддаль, використовуючи енергетичний підхід.

Початкова енергія системи $E = mgH$ йде на виконання роботи проти сили тертя:

$$A = \mu M g S + \mu \sum_{i=1}^n T_i \Delta S_i,$$

де T_i – вертикальна частина сили натягу нитки, на якій підвішено вантаж m на ділянці шляху ΔS_i , яка з наведених вище міркувань змінюється. Якщо для оцінювання взяти $T_i \approx mg$, то отримаємо:

$$A \approx \mu(M + m)gS,$$

$$mgH \approx \mu(M + m)gS.$$

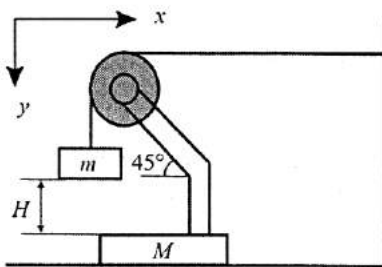
звідси

$$S \approx \frac{mH}{\mu(m + M)}.$$

Пропонуємо також Вашій увазі розв'язок, який зробило журі олімпіади. Його теж, враховуючи особливості руху цієї системи, вважаємо одним із наближень шуканої віддалі.

Якщо вантаж опуститься на плиту, вона рухатиметься з прискоренням і пройде відстань S . Потім почне зупинятися під дією сили тертя по поверхні. Розглянемо послідовно ці два етапи: перший – до падіння вантажу і другий – після падіння.

Сила F , яка діє на вісь блока, напрямлена під кутом 45° до горизонталі й за значенням дорівнює $T_n \sqrt{2}$, T_n – сила натягу нитки. Розкладемо її на вертикальну T_v і горизонтальну T_r частини ($T_v = T_r = T_n = T$). Осі координат оберімо так, як зображено на рис.



Спроектувавши сили, які діють на вантаж, на вісь Oy , дістанемо

$$mg - T = ma_y.$$

Сили, які діють на плиту, спроектуємо на вісь Ox :

$$-F_r + T = Ma_x,$$

але $F_r = \mu(mg + T_v) = \mu(Mg + T)$,

отже, $-\mu(Mg + T) + T = Ma$.

Із рисунка видно, що $a_y = a_x = a$, тоді, розв'язуючи систему рівнянь

$$\begin{cases} mg - T = ma \\ T - \mu(Mg + T) = Ma \end{cases},$$

отримаємо $a = \frac{mg - \mu Mg - \mu mg}{M - \mu m + m}$.

Рух стає можливим, якщо $a > 0$, тобто

$$\frac{mg - \mu Mg - \mu mg}{M - \mu m + m} > 0.$$

Швидкість плити до моменту часу t , коли вантаж доторкнеться до її поверхні $v_0 = at$, де

$$t = \sqrt{2H/a}.$$

Шлях, пройдений після моменту t :

$$s_1 = \frac{v_0^2}{2a_1} = \frac{2Ha}{2a_1} = H \frac{a}{a_1}.$$

Прискорення a_1 визначимо, знаючи силу тертя на шляху s :

$$F_r = \mu(m + M)g, \text{ і водночас } F_r = (m + M)a_1,$$

отже, $a_1 = \mu g$.

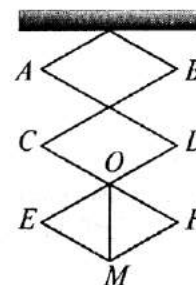
Повний шлях, який пройшла плита,

$$s = H + s_1 = H + H \frac{mg - \mu Mg - \mu mg}{(M - \mu m + m)\mu g} =$$

$$= H \frac{m(1 - \mu^2)}{\mu(M - \mu m + m)}.$$

Задача 2.

Під час зменшення довжини нитки на Δl довжина всієї підвіски зменшиться на $3\Delta l$, отже, центр тяжіння підвіски підніметься на $1,5\Delta l$.



Робота сили натягу нитки $F \cdot \Delta l$ мусить, очевидно, дорівнювати зміні потенціальної енергії системи

$$F \cdot \Delta l = 1,5mg \cdot \Delta l,$$

звідки $F = 1,5mg$.

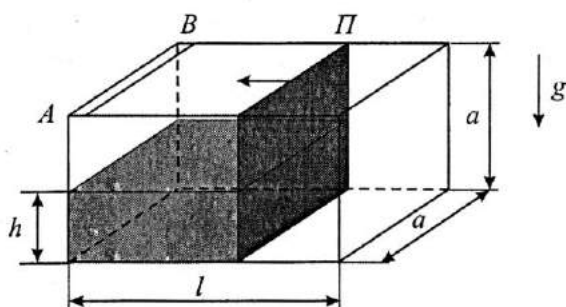
Задача 3.

Під час переміщення поршня на нього діють сили тиску повітря

$$F_1 = P_0 a(a - h) \quad (1)$$

і води
$$F_2 = \left(\frac{\rho gh}{2} + P_0\right) ah, \quad (2)$$

де ρ – густина води, h – зміна висоти рівня води в посудині, $\rho gh/2$ – середній тиск води на поршень.



Оскільки поршень підігнаний досить щільно, то між ним і правою стінкою посудини – вакуум. Щоб виконана робота була мінімальною, до поршня треба докласти силу, яка дорівнює силі тиску води і повітря (поршень переміщується рівномірно),

$$F = F_1 + F_2 = P_0 a^2 + \rho ga \frac{h^2}{2}. \quad (3)$$

Як впливає з (3), сила змінюється під час переміщення поршня, тому роботу, яку вона виконала, знаходять за допомогою інтегрування. Однак перший доданок (3) сталий (тому роботу цієї сили A_1 знайти неважко), а робота іншої частини сили в (3) дорівнює зміні потенціальної енергії води $A_2 = \Delta U$, знайти яку також неважко.

Отже, $A_1 = P_0 a^2 x$,

де x – зміщення поршня.

Зміщення поршня знайдемо з умови сталості об'єму води

$$lah_0 = (l - x)a^2, \text{ звідки } x = l\left(1 - \frac{h_0}{a}\right).$$

Отже,
$$A_1 = P_0 a^2 l \left(1 - \frac{h_0}{a}\right).$$

Знайдемо зміну потенціальної енергії води за формулою

$$A_2 = \frac{\rho galh_0(a - h_0)}{2}.$$

Отже, повна робота

$$A = \frac{\rho galh_0(a - h_0)}{2} + P_0 a^2 l \left(1 - \frac{h_0}{a}\right).$$

Зауважмо, що для не дуже високих посудин ($\rho ga \ll P_0$) другий доданок значно перевищує перший, тобто основна робота виконується проти сили атмосферного тиску.

Задача 4.

Дивіться розв'язок задачі 3 за 8-й клас.

Задача 5.

Дивіться розв'язок задачі 5 за 8-й клас.

10-й клас

Задача 1.

За умовою задачі

$$v^2 \sim T.$$

Оскільки $v^2 \sim P$, то $T = aP^2$.

Із рівняння Менделєєва-Клапейрона отримуємо:

$$PV = \nu RT = \nu RaP^2, \text{ або } P = \frac{V}{a \cdot \nu R}.$$

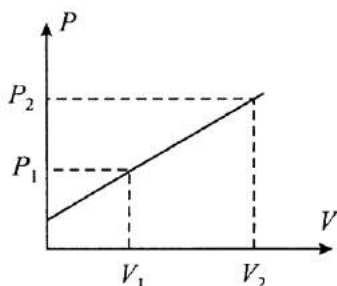
Молярну теплоємність газу в цьому процесі знайдемо за формулою:

$$C = \Delta Q / \nu \Delta T.$$

За першим законом термодинаміки

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

знайдемо роботу газу як площу „трапеції”, оскільки тиск пропорційний об'єму $P \sim V$.



$$\Delta A = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_1 \cdot V_2 + P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1 - P_2 \cdot V_1)$$

Зауважмо що:

$$P_1 = \frac{V_1}{a \cdot v R}, \quad P_2 = \frac{V_2}{a \cdot v R},$$

тоді $P_1 \cdot V_2 = \frac{V_1 \cdot V_2}{a \cdot v R}, \quad P_2 \cdot V_1 = \frac{V_1 \cdot V_2}{a \cdot v R},$

тобто $\Delta A = \frac{1}{2} \cdot (P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1) = \frac{v R}{2} \cdot (T_2 - T_1),$

а $\frac{\Delta A}{\Delta T} = \frac{v R}{2}.$

Тоді $\Delta Q = v C_V \Delta T + v \frac{R}{2} \Delta T,$

отже, $C = C_V + \frac{R}{2} = 2R.$

Задача 2.

Вважатимемо „корисною” під час роботи морозильника ту кількість теплоти, що відбирається від „холодильника” Q_k , а „затраченою” – ту, яка зумовлена використанням електричної енергії морозильником – Q_3 . Отже, можемо ввести величину – коефіцієнт корисної дії холодильника

$$\eta_1 = Q_k / Q_3.$$

Використовується і таке поняття, як холодильний коефіцієнт

$$\eta_2 = (Q_k + Q_3) / Q_3.$$

Знайдімо ККД. Зрозуміло, що, оскільки з холодильника треба забирати ту кількість теплоти, яка потрапляє крізь стінки, тобто q , то $Q_k = q$.

Морозильник споживає за цей час енергію $Q = P\tau$, з якої кількість $Q_3 = \eta Q = \eta P\tau$ піде на виконання роботи холодильником. Оскільки процес, який здійснюється з газом, є циклом Карно, то маємо

$$\eta_1 = \frac{Q_k}{Q_3} = \frac{q}{\eta P\tau} = \frac{T_1}{T_2 - T_1},$$

де $T_1 = t_1 + 273 \text{ К}$ і $T_2 = t_2 + 273 \text{ К}$.

Тоді маємо

$$P = \frac{q(T_2 - T_1)}{\eta\tau T_1} \approx 11 \text{ Вт.}$$

Задача 3.

Максимальна кількість теплоти виділиться за умови, що кубик пройде максимальну відстань відносно транспортера. Для цього потрібно, щоб біля ролика A швидкість кубика відносно землі дорівнювала нулеві (рис. 1).

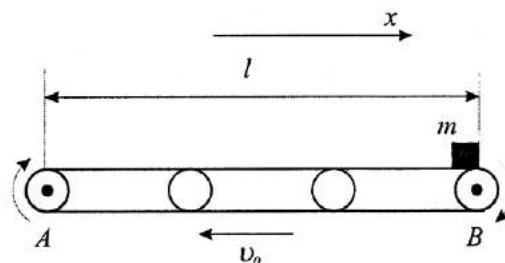


Рис. 1.

Початкова швидкість відносно землі, яку повинен мати кубик, визначається умовами

$$-v + at = 0 \quad \text{та} \quad l = vt + at^2/2,$$

де $a = \mu g$ – прискорення, надане кубикові силою тертя.

Звідси $v = \sqrt{2\mu gl}.$

Час руху кубика стрічкою транспортера до ролика A

$$t = \sqrt{2l/\mu g}.$$

До зупинки кубик пройде по стрічці шлях

$$s_1 = l + v_0 t = l + v_0 \sqrt{2l/\mu g}.$$

Далі кубик почне рухатися рівноприскорено праворуч. Інтервал часу, через який припиниться проковзування, дорівнює

$$\tau = v_0/a = v_0/\mu g.$$

За цей час відносно Землі кубик переміститься на відстань

$$s = \frac{a\tau^2}{2} = \frac{v_0^2}{2\mu g}.$$

Оскільки за умовою задачі $v_0 = \sqrt{2\mu gl}$, то за час τ кубик не сповзе з транспортера, тобто $s < l$.

Шлях, який за цей час пройде кубик відносно стрічки транспортера, дорівнює

$$s_2 = \left| \frac{v_0^2}{2a} - v_0\tau \right| = \frac{v_0^2}{2\mu g}.$$

Повний шлях кубика відносно стрічки транспортера дорівнює

$$s_n = s_1 + s_2 = l + v_0 \sqrt{\frac{2l}{\mu g}} + \frac{v_0^2}{2\mu g}.$$

Кількість теплоти, яка виділиться від роботи сили тертя, дорівнює

$$Q = \mu mgs_n = \frac{m}{2}(v_0 + \sqrt{2l\mu g})^2.$$

Задачу можна розв'язати й інакше. Розгляньмо рух у системі координат, швидкість якої відносно землі дорівнює v_0 і направлена в той самий бік, що й швидкість верхньої стрічки транспортера (тобто від точки A до точки B на рис. 1). Нехай у момент початку руху кубика ($t_0 = 0$) точка B збігається з початком координат.

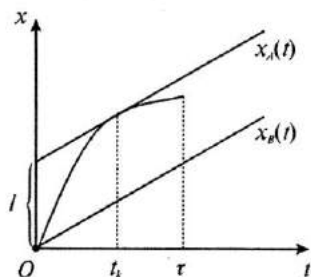


Рис. 2.

На рис. 2 зображено графіки руху точок A і B (нерухомих відносно Землі) вздовж вісі X , спрямованої ліворуч (від точки B до точки A). Графік руху кубика буде параболою:

$$x(t) = (v + v_0)t - \frac{1}{2}\mu gt^2,$$

де v – початкова швидкість кубика, μg – прискорення, якого надає кубикові сила тертя (t змінюється від $t_0 = 0$ до певного моменту τ , яке відповідає зупинці кубика відносно стрічки транспортера).

Максимальна кількість теплоти виділиться за умови, що за час гальмування кубика шлях, який він пройде, буде максимально можливим, і кубик не злетить із стрічки транспортера. Отже, графік руху кубика – парабола, яка дотикається в певний момент t_k до прямої $x_A(t)$, вершина параболи лежить вище від прямої $x_B(t)$, тобто $x_A(t) > x_B(\tau)$.

Умова дотикання

$$l + v_0 t_k = (v + v_0)t_k - \frac{1}{2}\mu g t_k^2, \quad v_0 = v + v_0 - \mu g t_k,$$

звідки $v = \sqrt{2\mu gl}.$

Шлях гальмування дорівнює

$$S_r = \frac{(v + v_0)^2}{2\mu g} = \frac{(\sqrt{2\mu gl} + v_0)^2}{2\mu g}.$$

Час гальмування

$$\tau = \frac{v + v_0}{\mu g} = \frac{\sqrt{2\mu gl} + v_0}{\mu g}.$$

За цей час точка B пройде шлях

$$S_B = \frac{v_0(\sqrt{2\mu gl} + v_0)}{\mu g}.$$

За умовою задачі, $v_0 < \sqrt{2\mu gl}$, отже, $S_B < S_r$, тобто $x_A(\tau) > x_B(\tau)$.

Максимальну кількість теплоти знайдемо із закону збереження енергії:

$$Q = \mu mgs = \frac{m}{2}(v_0 + \sqrt{2l\mu g})^2.$$

Задача 4.

Силу, яка зумовлює рух половинок після розрізання куль можна розглядати як силу електростатичного тиску, до діятиме на кожну півкулю.

$$F = \pi R^2 \frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \pi R^2}{2} \left(\frac{Q}{4\pi \epsilon_0 R^2} \right)^2 = \frac{Q^2}{32\pi \epsilon_0 R^2}.$$

Знайдімо залежність прискорення від заряду і радіуса куль

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Q^2}{32\pi \epsilon_0 R^2 \cdot (2/3)\pi R^3 \rho} = c \frac{Q^2}{R^5}.$$

Отже, що більший радіус, то менше прискорення, а тому, за однаковий час половинки кулі з більшим радіусом роз'їдуться на менші відстані.

Розгляньмо тепер ситуацію, коли половинки обох куль роз'їхалися на великі відстані $d \gg R$. У цьому випадку можна вважати, що задача перетворилася в задачу про рух точкових зарядів, і тепер власні розміри куль вже не відіграють ролі.

Сила взаємодії тепер пропорційна Q^2/d^2 , а прискорення

$$a \sim \frac{Q^2}{d^2 R^3}.$$

Отже, і в цьому випадку для кулі з більшим R прискорення буде меншим. Тому половинки кулі більшого радіуса роз'їжджаються після розрізання повільніше. Від знаку зарядів на кулі нічого не залежить.

Задача 5.

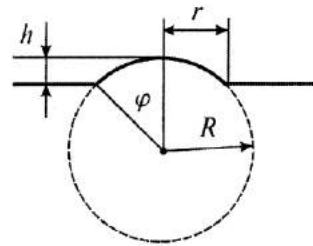
Прирівняймо електростатичний тиск до тиску сил поверхневого натягу:

$$\frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{4\sigma}{R}, \quad (1)$$

де $E = \frac{U}{d}.$ (2)

Із геометричних міркувань, враховуючи те, що φ – мале (див. рис.), отримуємо

$$h = R(1 - \cos \varphi) \approx \frac{R\varphi^2}{2} \approx \frac{r^2}{2R}. \quad (3)$$



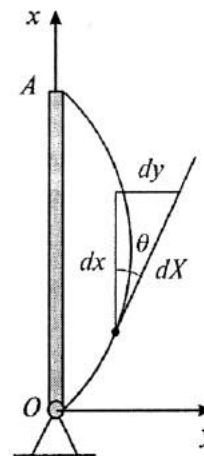
Враховавши (1) та (2), знаходимо вираз для R і підставляємо у (3)

$$h = \frac{\epsilon_0 U^2 r^2}{16d^2 \sigma}.$$

11-й клас

Задача 1.

Введімо декартову систему координат з віссю Ox , спрямованою вертикально, оскільки, за умовою, X – координата вздовж вигнутого стрижня, маємо $dX^2 = dx^2 + dy^2.$ (1)



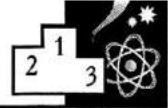
Рівноважний стан стрижня відповідає мінімуму потенціальної енергії сил пружності та зовнішньої сили F (потенціальною енергією сил тяжіння нехтуємо). Потенціальна енергія сил пружності, згідно з умовою, обчислюється так:

$$U_1 = \frac{1}{2} \int_0^L M \chi dX = \frac{EI}{2} \int_0^L \chi^2 dX, \quad (2)$$

де $\chi = d\theta/dX.$

Із прямокутного трикутника, який утворюють dx, dy і dX , знайдемо, що

$$\sin \theta = \frac{dy}{dX} \equiv y',$$



отже, $\theta = \arcsin y'$ і $\chi = \frac{y''}{\sqrt{1-(y')^2}}$.

Підставмо χ до (2) і скористаймося тим, що $(y')^2 \ll 1$:

$$U_1 = \frac{EI}{2} \int_0^L \frac{(y'')^2}{1-(y')^2} dX \approx \frac{EI}{2} \int_0^L (y'')^2 [1+(y')^2] dX. \quad (3)$$

Підставмо $y = Q \sin \frac{\pi X}{L}$ до (3) і проінтегруймо:

$$U_1 = \frac{\pi^4}{4} EI \frac{Q^2}{L^3} \left(1 + \frac{\pi^2 Q^2}{4L^2}\right). \quad (4)$$

Потенціальна енергія сталої сили F :

$$U_2 = -F(L - x_A), \quad (5)$$

Координата верхнього кінця стрижня x_A з урахуванням (1)

$$x_A = \int_0^{x_A} dx = \int \sqrt{(dX)^2 - (dy)^2} = \int_0^L \sqrt{1-(y')^2} dX. \quad (6)$$

Підставмо $y = Q \sin \frac{\pi X}{L}$ до (6), і розкладімо підінтегральний вираз за степенями Q з точністю до Q^4 включно (дотримуємося тієї ж точності, що й у (4)) й виконаймо інтегрування:

$$\begin{aligned} x_A &\approx \int_0^L \left[1 - \frac{1}{2}(y')^2 - \frac{1}{8}(y')^4\right] dX \approx \\ &\approx L \left[1 - \left(\frac{\pi Q}{2L}\right)^2 - \frac{3}{4} \left(\frac{\pi Q}{2L}\right)^4\right]. \end{aligned}$$

Потенціальна енергія сили F :

$$U_2 \approx -\frac{\pi^2 Q^2}{4L} \left(1 + \frac{3\pi^2 Q^2}{16L^2}\right) F.$$

Потенціальна енергія системи:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 = \\ &= \frac{\pi^2}{4L} \left[(F_c - F) Q^2 + \frac{\pi^2}{4L} \left(F_c^2 - \frac{3}{4} F^2 \right) Q^4 \right], \quad (7) \end{aligned}$$

де $F_c = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$ – деяке критичне значення сили.

Залежно від співвідношення між F та F_c маємо три випадки:

1. $F < F_c$, потенціальна енергія $U(Q)$ має один мінімум, який досягається при $Q = 0$, вигин стрижня відсутній.

2. $F_c < F < (4/3)F_c$, функція $U(Q)$ має два симетрично розташовані мінімуми, яким відповідає значення

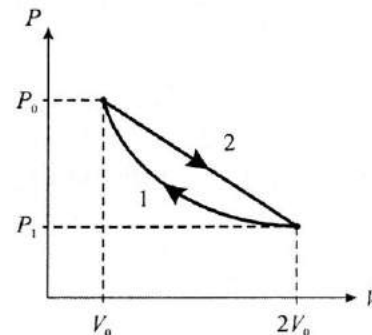
$$Q = \pm \frac{L}{\pi} \sqrt{\frac{8(F - F_c)}{4F_c - 3F}}. \quad (8)$$

За умовою, вигин стрижня невеликий, тобто $Q/L \ll 1$. Отже, $F \approx F_c$, і формула (8) може бути спрощена:

$$Q = \pm \frac{L}{\pi} \sqrt{8\left(\frac{F}{F_c} - 1\right)}.$$

3. $F > (4/3)F_c$, це суперечить умові задачі щодо малого відхилення Q . Формально потенціальна енергія як функція Q не має мінімуму.

Задача 2.



Оскільки при адіабатичному процесі теплообмін відсутній, то на ділянці 2 газ спочатку отримує теплоту, а потім її віддає. Знайдемо залежність кількості отриманої газом теплоти від його об'єму V при збільшенні останнього від V_0 до $2V_0$. За першим законом термодинаміки

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{P_0 + P}{2} (V - V_0). \quad (1)$$

де $3/2(R\Delta T)$ – зміна внутрішньої енергії газу, A – робота, виконана газом.

Оскільки тиск змінюється за лінійним законом, то роботу легко обчислити як площу відповідної трапеції під графіком функції $P(V)$.

Рівняння прямої AB можна записати у вигляді

$$P = P_0 - \frac{P_0 - P_1}{V_0} (V - V_0). \quad (2)$$

З урахуванням рівняння стану ідеального газу $PV = RT$ величину $Q(\Delta V)$ можна записати у вигляді

$$Q(\Delta V) = \frac{1}{2}(2P_0 + 3P_1 - 4\frac{P_0 - P_1}{V_0}\Delta V)\Delta V, \quad (3)$$

де $\Delta V = V - V_0$.

Функція (3) має максимум при

$$\Delta V^* = \frac{2P_0 + 3P_1}{8(P_0 - P_1)}V_0.$$

Отже, до такого значення приросту об'єму газ отримувє теплоту, а потім її віддає. Кількість отриманої теплоти дорівнює:

$$Q_1 = Q(P_0 - P_1) = \frac{(2P_0 + 3P_1)^2}{32(P_0 - P_1)}V_0. \quad (4)$$

Різниця між отриманою й відданою теплою i є роботою, яку газ виконує за цикл, і яку можна підрахувати, підставивши у (3)

$$\Delta V = 2V_0 - V_0 = V_0:$$

$$A = \frac{7P_1 - 2P_0}{2}V_0. \quad (5)$$

За допомогою (4) і (5) знайдемо ККД

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 16 \frac{(7P_1 - 2P_0)(P_0 - P_1)}{(2P_0 + 3P_1)^2} = 0,26.$$

Задача 3.

При зміні магнетного потоку через кільце у ньому виникає ЕРС індукції $E_i = -\Delta\Phi/\Delta t$, яка зумовлює виникнення електричного струму. Змінний електричний струм створює власне магнетне поле, зміна якого зумовлює виникнення ЕРС самоіндукції $E_{c,i} = -L(\Delta I/\Delta t)$.

Закон Ома для кільця запишемо так:

$$I \cdot R = E_i - E_{c,i}, \quad (1)$$

де I – сила струму, R – опір кільця.

Зваживши на те, що кільце надпровідне ($R = 0$), отримаємо

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \quad (2)$$

де Φ – магнетний потік зовнішнього поля через кільце.

Оскільки в початковий момент часу цей потік, а також сила струму дорівнюють нулеві, то з рівняння (2) випливає, що після обертання кільця

$$I = \frac{\pi r^2 B}{L}, \quad (3)$$

де $\pi r^2 B$ – магнетний потік зовнішнього поля через кільце після його обертання.

Якщо індуктивність кільця мала, то для знаходження сили струму потрібно враховувати інерційні властивості електронів, тобто їхню масу. Справді, закон Ома (1) описує тільки усталений режим струму (квазістаціонарне наближення), нехтуючи етапом „прискорення” електронів. Щоб врахувати цю обставину, запишемо другий закон Ньютона для електрона

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = e \frac{E_i - E_{c,i}}{2\pi r} = \frac{e}{2\pi r} \frac{\Delta(\Phi - LI)}{\Delta t}. \quad (4)$$

У рівнянні (4) ЕРС записана як добуток побічної сили, що діє на електрон, на довжину контура. Зваживши на початкові умови, з рівняння (4) отримаємо

$$mv = \frac{e}{2\pi r}(\pi r^2 B - LI). \quad (5)$$

Швидкість усталеного напрямленого руху електронів можна знайти з формули для сили струму

$$I = enSv, \quad (6)$$

де n – концентрація електронів, S – площа поперечного перерізу провідника.

Із (5) та (6) випливає, що

$$I = \frac{(\pi r^2 B)}{L + \frac{2\pi r m}{nS e^2}}. \quad (7)$$

Формула (7) відрізняється від формули (3) додатковим доданком у знаменнику, пропорційним масі електрона. Зауважмо, що для реальних контурів цей доданок малий порівняно з індуктивністю контура і в таких випадках ним можна нехтувати.

Задача розв'язується, виходячи з того, що нам невідомий закон зміни кута між нормаллю до рамки та вектором індукції поля.

Задача 4.

Показник заломлення рідини залежить від її густини, а отже, і від тиску в рідині. При підключенні джерела ультразвуку у рідині утворюється стояча звукова хвиля, тобто періодична структура з областей розрідження і згущення. Ця структура відіграє роль дифракційної ґратки, на якій дифрагує світло. Період „ґратки” дорівнює відстані між областями згущення або розрідження, тобто довжині біжучої хвилі $\lambda_{зв}$:

$$d = \lambda_{зв} = c/v, \quad (1)$$

де c – швидкість звуку у рідині.

Умова максимуму при дифракції на ґратці:

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (2)$$

де λ – довжина світлової хвилі, m – порядок дифракції, φ – кут дифракції. У цьому випадку кут малий, тому

$$\sin \varphi \approx \varphi = a/l. \quad (3)$$

Із рівнянь (1) – (3) отримаємо $(c/v)(a/l) = \lambda$, звідки

$$c = \lambda v l / a = 1490 \text{ м/с.}$$

Об’ємну структуру, створену стоячою акустичною хвилею, можна очевидно, замінити одновимірною, якщо зсув фаз між променями, що йшли через області згущення та розрідження, буде невеликим:

$$(n_{\max} - n_{\min}) \cdot l \leq \lambda/2.$$

Задача 5.

Нехай шар, у якому відбувається повне заломлення світла, розташований на відстані R_0 від центра Землі (точка O на рис. 1) і має товщину ΔR . Показник заломлення атмосфери для цього шару позначимо n_0 (оскільки шар тонкий, можна вважати, що на відстані ΔR величина n – стала).

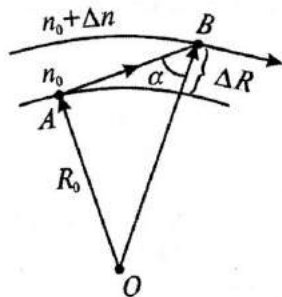


Рис. 1.

Розгляньмо промінь AB , який напрямлений до верхньої межі шару вздовж дотичної до нижньої

його межі в точці A . Якщо цей промінь зазнає повного відбивання на верхній межі шару (в точці B), то й будь-який інший промінь, який потрапить знизу у виділений шар, відіб’ється від верхньої межі.

Запишімо умову повного відбивання для променя AB :

$$\frac{\sin \alpha}{1} = \frac{n_0 + \Delta n}{n_0} = 1 + \frac{\Delta n}{n_0},$$

де $n_0 + \Delta n$ – показник заломлення атмосфери за верхньою межею виділеного шару. Оскільки шар тонкий, то можна вважаємо, що

$$\sin \alpha = \frac{R_0}{R_0 + \Delta R} \approx 1 - \frac{\Delta R}{R_0},$$

і, отже,
$$1 + \frac{\Delta n}{n_0} = 1 - \frac{\Delta R}{R_0},$$

звідки
$$\frac{\Delta n}{n_0} = -\frac{\Delta R}{R_0},$$

або
$$\frac{\Delta n}{\Delta R} \equiv n'(R_0) = -\frac{n_0}{R_0}.$$

Дотична до графіка $n(R)$ у точці, яка відповідає значенням n_0 і R_0 , має бути нахилена під кутом φ , таким, що $\text{tg } \varphi = -n_0/R_0$, тобто ця дотична має бути паралельною до прямої, яка проходить через точки з координатами $(0, n_0)$ і $(R_0, 0)$ (рис. 2).

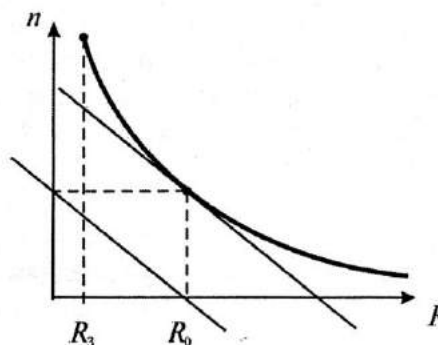


Рис. 2.

Побудувавши графіки залежностей $-n'_0(R)$ та $n(R)/R$ і знайшовши їхню точку перетину, можна визначити шукану величину R_0 .

Висота H_0 дорівнює $H_0 = R_0 - R_3$.

Розв’язки підготували
Віталій Лесівців, Тарас Фітьо

Квантова межа щільності магнетного запису

Починаючи з 1997 р., щільність магнетного запису щорічно подвоюється. Якщо ця тенденція збережеться, скоро будуть потрібні дуже маленькі і стабільні магнетні частки. Для кожного магнетного матеріалу і температури є критичний розмір частки, нижче від якого вони можуть спонтанно перемагнетуватись завдяки термічним флуктуаціям. Словом, із зменшенням розмірів часток матеріал стає суперпарамагнетним. Для подолання цього обмеження використовують матеріали з високою анізотропією. Частки стали менші, а поля перемагнетчування – більші.

Інший шлях полягає у зниженні температури з метою зменшення впливу термічних флуктуацій. Справді, стани вихідної і зворотної намагнетченості частки, яка знаходиться у зовнішньому полі, що перемагнетчує, сусідні частки відділені потенціальним бар'єром. Подолати бар'єр можна за рахунок термічної активації, а такий процес переходу може бути суттєво зменшений зниженням температури. На жаль, ще один канал – тунелювання – не залежить від температури. Він і визначає квантову межу густини магнетного запису. Співробітники Дослідницького центру Т. Вотсона компанії IBM розраховали цю межу на основі теорії макроскопічного квантового тунелювання для різних матеріалів (Applied Physics Letters. 2001. V. 79. P. 150). Критерій стабільності магнетного запису такий: кожний біт має зберігати 95% своєї намагнетченості впродовж 10 років.

Які ж є перспективи? Для сплавів кобальта, на яких була продемонстрована магнетна пам'ять з щільністю запису 10 Гбіт/дюйм², можна досягти щільності запису до 1,9 Тбіт/дюйм² при температурі 0,1 К, і за цією межею вступає в силу квантове обмеження. Середовище із залізоплатиновими наночастками є матеріалом з високою анізотропією і претендентом на досягнення щільності 100 Гбіт/дюйм². Для цього матеріалу співробітники Дослідницького центра компанії IBM отримали обмеження 43 Тбіт/дюйм² при температурі 1,3 К.

Матеріали для приладів нічного бачення

Якщо на поверхню напівпровідника з дірковим типом провідності нанести спеціальне, дуже тонке, покриття, робота виходу з нього значно зменшиться. Так досягається ефект від'ємного електронного споріднення. Наприклад, досить нанести на поверхню кремнієвої пластини моношар атомів цезію, як енергія дна зони провідності в об'ємі кристалу стане вища від рівня вакуума на поверхні. У такому випадку фотогенеровані електрони легко залишають напівпровідник і вилітають у вакуум, якщо під час руху до поверхні вони не прорекомбінують, або не відіб'ються від межі розділення напівпровідник-активуєче покриття. На жаль, і те й інше є можливе.

Однак за величиною квантового виходу в інфрачервоній ділянці спектру ($\lambda > 0,8$ мкм) фотокатоди з від'ємним електронним спорідненням не мають конкурентів. Частіше за все використовують покриття – цезій + кисень. Кисень деколи заміняють фтором, що теж створює працюючий шар, однак тонкий аморфний шар, який складається з легких сполук, досить нестабільний. І учені, і виробники приладів нічного бачення давно намагаються замінити його міцнішою монокристалічною плівкою. До того ж ціна сучасного приладу нічного бачення, в якому використовують цезієве покриття, співмірна з ціною автомобіля.

У цій ситуації до себе привертають увагу сполуки рідкоземельних металів з халькогенідами (сіркою, селеном чи телуrom). Незважаючи на простоту кристалічної структури монохалькогенідів, міжатомний зв'язок у них на диво міцний: температура плавлення моносольфідів майже завжди вища від 2000 °С. За своїми електронними властивостями це типові метали, але з надзвичайно малою роботою виходу ($< 1,5$ eV). Тому, якщо, наприклад, на поверхні діркового напівпровідника – фосфіду індію епітаксіально наростити два-три моношари моносольфиду лантану (LaS), то, як показують нещодавно опубліковані розрахунки, формується структура з від'ємним електронним спорідненням. На щастя у такої пари близькі сталі кристалічної ґратки. Для виробників приладів нічного бачення це добра новина.

Вплив світла на ріст кристалів

Шість років тому Брюс Гарец з колегами з Політехнічного університету в Нью-Йорку і Аллан Маерсон з Іллінойського технологічного інституту встановили, що поляризоване лазерне випромінювання формує в розчині сечовини кристали за декілька наносекунд, замість декількох днів звичай. Учені вважають, що інфрачервоне випромінювання збуджує електрони у молекулах сечовини у випадкових кластерах, що повільно ростуть. Поляризоване електричне поле орієнтує молекули в кластерах і прискорює формування голко-подібних кристалів. Їхні опоненти заперечували це і вважали, що домішки зумовлюють зародження кристалів, а світло можливо викликає тонкі хемічні реакції, що прискорюють формування кристалів. Однак у новій праці Гареча, Маерсона та інших показано, що поляризоване різними способами світло зумовлює ріст різних кристалічних структур. На цей раз, дослідники направили лазерне випромінювання у розчин гліцину, амінокислота якого може формувати три різні кристалічні структури, які називають альфа, бета, і гамма. Структура гамма-кристалів складається зі скручених у клубок гліцинових молекул, водночас як альфа-структура складається з палети плоских молекул. Лінійно поляризоване світло, у якому електричне поле здійснює коливання в одному напрямку зумовлює формування гамма-структури; циркулярно поляризоване світло, у якому вектор напруженості електричного поля обертається подібно до стрілки секундоміра, зумовило формування альфа-структури.

Нові факти мали б розвіяти сумніви скептиків щодо прискорення світлом росту кристалів у сечовині, оскільки в їхніх поясненнях швидкості росту кристалів сечовини тип поляризації світла не відіграє жодного значення. Д. Окстобі з Чиказького університету зазначив: „Будь-які сумніви, які існували раніше були відкинуті цим дуже вдалим експериментом”. Ефект поляризації може стати корисним інструментом для учених і виробників лікувальних засобів, – зазначає він, – оскільки це дає змогу цілеспрямовано отримувати бажані кристалічні структури, або навіть виробляти нові матеріали з новими властивостями.

Кристалічне зародкоутворення таємниче і непостійне. Більше, ніж сторіччя, фізики і хеміки намагаються зрозуміти, як молекули починають формувати кристали. Дослідники часто зустрічаються з новими ефектами, які не мають вичерпного пояснення. Наприклад, 1998 року, під час виготовлення лікувального препарату проти СНІДу (Norvir) учені випадково зіткнулись з тим, що препарат кристалізувався в новій, менш розчинній структурі, що створило проблему його застосування. Поляризоване світло могло б бути корисним для розв'язання цієї проблеми. Однак спочатку учені мають підтвердити, що багатообіцяючий ефект впливу поляризованого світла на ріст кристалів справді існує.

Премія для математиків

У серпні 2001 р. прем'єр-міністр Норвегії Е.Стольтенберг урочисто оголосив, що уряд цієї скандинавської країни заснував щорічну премію ім. Н.Г. Абеля, яка спеціально призначена представникам однієї з точних наук – математикам. Подія приурочена до 200-річчя від дня народження видатного норвезького математика Нільса Генріка Абеля, який прожив лише 26 років і помер 1828 року від туберкульозу, встигнувши чимало зробити для розвитку цієї науки.

Рішення про нагороду буде приймати Норвезька академія наук і літератури. Вікових обмежень для лауреатів Абелівської премії не має. Крім дуже гарного диплому і художньо оформленої медалі до неї додаватимуть чек майже на 500 тис. доларів. Сума в 200 млн. норвезьких крон (майже 22 млн. доларів) уже передбачена державним бюджетом країни на 2003 р., коли відбудеться перше нагородження. Лавреат Філдсовської премії 1974 р. Д. Мамфорд (D.Mamford) вважає, що ця подія „змінить увесь ландшафт світової математики”.



ГУМОР

ЖІНКА І ФІЗИКИ

Категорії привабливості

Щоб встановити ступінь привабливості жінок, молоді фізики в інституті Нільса Бора склали такий перелік пунктів:

1. Неможливо ні на секунду відвести очі.
2. Можна, але з труднощами.
3. Байдуже, дивишся чи ні.
4. Дивишся без усякого задоволення.
5. Неможливо навіть заставити себе дивитися.



Не потрібно уточнювати

Відомий німецький фізик Ріхард Ганс, торкаючись у своїй лекції питання про вік Землі, закінчив висновки такими словами: „Мушу, однак, зазначити, що із віком Землі масо так само, як і з віком жінки”, – не варто його визначати надто точно.

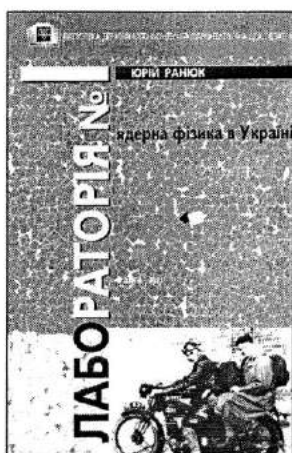
Альтернатива Нобелівській премії

У жовтні 2001 р. у Бостоні (штат Массачусетс) відбулася чергова щорічна церемонія: в 11-й раз були оголошені імена людей, які виконали найбезглуздіші або найсмійшніші наукові праці. Присудження премій і церемонія її вручення іронічно (а часом і саркастично) імітують справжню Нобелівську премію і називається Ігнобелівською (igno – початкові слова латинського слова, що означає „невігластво”).

Актова зала Гарвардського університету була переповнена науковцями і людьми, які люблять жарти. А лавреати не завжди присутні на церемонії: не кожному подобається, коли саме з нього сміються. Зате серед членів комісії, що оголошувала переможців були присутні четверо справжніх нобелівських лавреатів.

Фізик Д. Шмідт із Массачусетського університету отримав премію за „РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ПРОГІНАННЯ ФІРАНКИ У ДУШІ”. Про зміст свого дослідження він доповів особисто. Спостереження автора показали, що фіранка найчастіше вигинається не назовні, а всередину. Ретельний дослідник встановив і причину такого загадкового феномену. Грунтуючись на останніх досягненнях фізичної науки, він встановив, що це явище зумовлюється близькістю людини, що приймає душ, до фіранки. Автор гордо повідомив, що жодних грантів на свої дослідження він не просив і ні від кого не отримував. Це справді вартує на похвали.

Найвагоміше досягнення в царині техніки отримав австралієць Дж.Кіого (J.Keogh). Йому, після довгих, втомлювальних обидві сторони, зусиль вдалось вибороти патентні права на... КОЛЕСО! Віднині на території Австралії саме він володіє авторством на це важливе відкриття людського розуму. На матеріальну винагороду Кіого не претендує. У зверненні, записаному на плівці, „творець колеса” пояснює, що своєю наполегливою діяльністю він хотів довести всю абсурдність австралійських патентних законів і бюрократизм їхніх охоронців. Мусимо визнати, це йому вдалось!



Юрій Ранюк. Лабораторія № 1. Ядерна фізика в Україні. – Харків: Акта, 2001. – 588 с.: іл.

Про ядерну фізику, суспільним апофеозом якої було створення ядерної зброї, написано дуже багато як на теренах Радянського Союзу, так і за його межами. Щодо історії ядерної фізики в Україні, то вона взагалі, не була написана. Ядерна наука в колишньому Радянському Союзі була започаткована саме в Україні, і до Другої світової війни Український фізико-технічний інститут у Харкові був одним з головних осередків ядерно-фізичних досліджень. Ця книга про ядерну фізику та про людей, що її творили.

Мельничук С.В., Пшенічка П.Ф. Фізика – крок у ХХІ століття. Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів. 7 клас. – Чернівці: МСП „Агат”, 2002. – 184 с.: іл.

Головна ідея підручника – створити методичну основу, сформувати базові поняття для сприйняття і розуміння школярем сучасної фізики. Матеріал цього підручника – результат багаторічної праці з учнями загальноосвітньої школи та спеціалізованого фізико-математичного ліцею. У книзі окреслено два рівні викладання матеріалу: простий і поглиблений. Оскільки підручник призначений для ознайомлення школярів з фізикою як наукою, основний акцент зроблено на якісному викладанні тем із мінімальним застосуванням математичних формул.

Підручник містить понад 400 запитань і задач, 5 лабораторних робіт, 13 експериментальних завдань, які також можна використати як лабораторні роботи. Описано 17 захопливих дослідів, наведено 6 завдань для самостійного поглибленого дослідження. У ньому наведено цікаві факти з історії фізики і техніки, біографічні дані про відомих учених, імена яких згадуються в тексті. Це дасть змогу школяреві побачити фізику як науку в її історичному розвитку.



ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

БІБЛІОТЕКА „СВІТ ФІЗИКИ”:

1. Краус Іво. Вільгельм Конрад Рентген. Нашадок щасливої випадковості/ Пер. з чеської В. Іванової-Станкевич. – Львів: Євросвіт, 2002. – 84 с.: іл.
2. Біланюк Олекса. Тахіони. – Львів: Євросвіт, 2002. – 160 с.: іл.
3. Алексейчук В., Гальчинський О., Шопа Г. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв’язки. – Львів: Євросвіт, 2000. – 168 с.

БІБЛІОТЕКА МОЛОДОГО НАУКОВЦЯ:

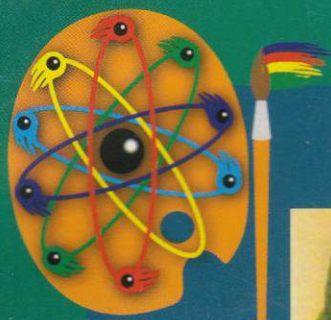
Довгий Я. Чарівне явище надпровідність. – Львів: Євросвіт, 2000. – 440 с.

БІБЛІОТЕКА ФОНДУ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ:

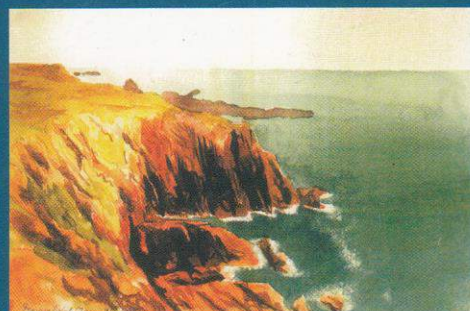
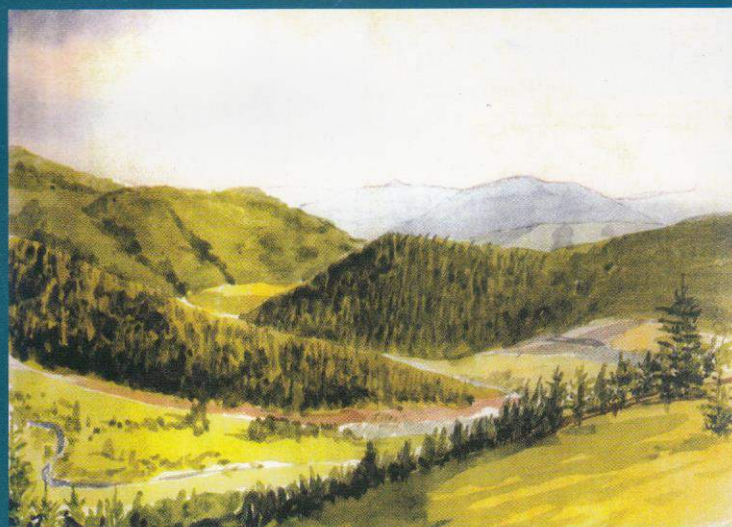
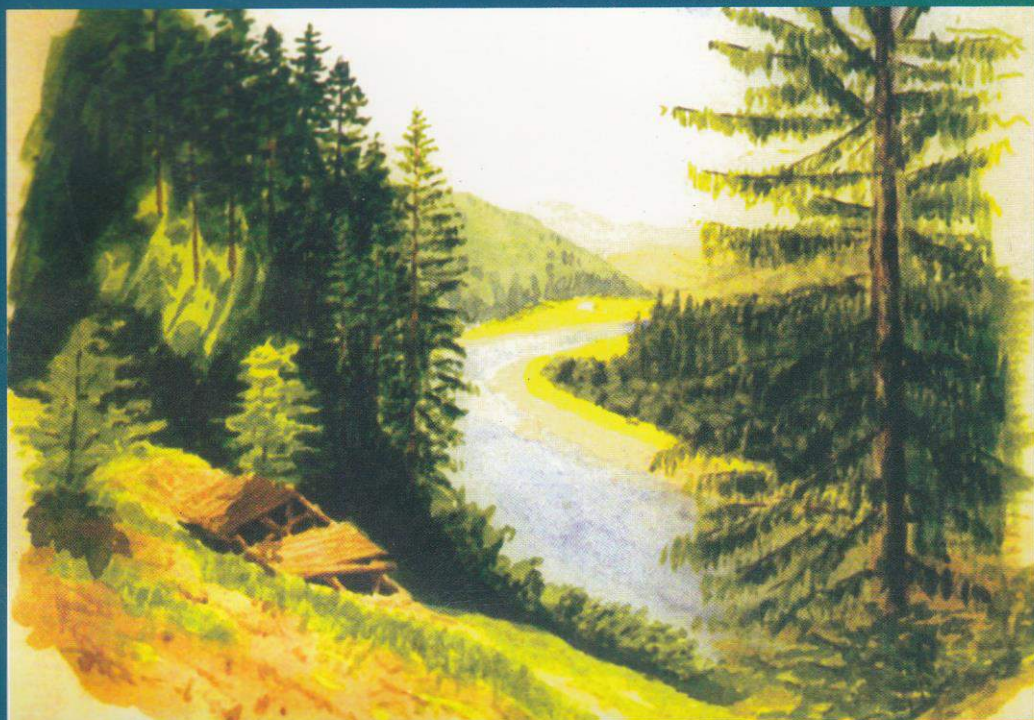
1. Поп С., Шароді І. Фізична електроніка. – Львів: Євросвіт, 2001. – 240 с.: іл.
2. Зербіно Д. Наукова школа: лідер і учні. – Львів: Євросвіт, 2001. – 208 с.: іл.
3. Геодезичний енциклопедичний словник /За ред. В. Літинського. – Львів: Євросвіт, 2001. – 668 с.

Приймаємо замовлення на книги за адресою:

79005 м. Львів, а/с 6700



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



*Мар'ян Смолуховський
(1872-1917)*

Пейзажі, акварель

