

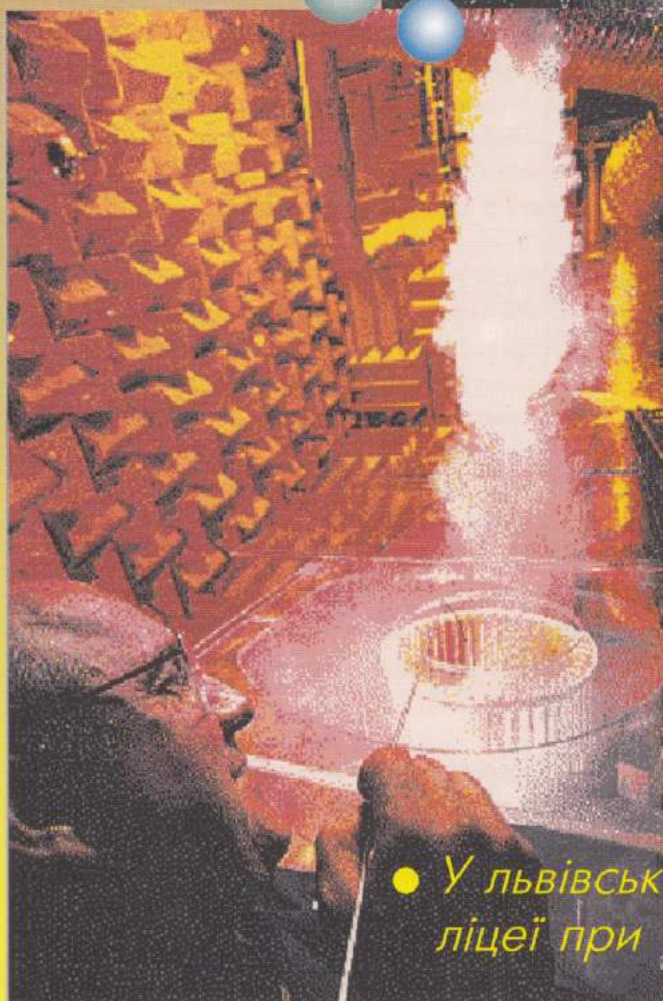
ФІЗИЧНИЙ
ЕКСПРЕС

С В І Т

ФІЗИКИ

№ 1' 97

науково-популярний журнал



- 125 років з дня народження Резерфорда
- Український фізик - Пулюй

● У львівському фізико-математичному ліцеї при Львівському університеті



ЛВІВСЬКИЙ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИЙ ЛІЦЕЙ ПРИ ЛВІВСЬКОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

У 1991 році у Львові по вулиці Караджича, 29 відчинив двері новий навчальний заклад — фізико-математичний ліцей при Львівському державному університеті. Головним завданням його колективу є пошук обдарованих дітей, розвиток їхніх творчих здібностей, підготовка до майбутньої наукової роботи в галузях фізики, математики, хімії та біології.

Конкурсний відбір викладачів дав змогу сформувати унікальний педагогічний колектив, в якому працюють кандидати фізико-математичних наук Ю.Ключковський, О.Гальчинський, В.Прокіп, В.Черняхівський, О.Костів, М.Стоділка, кандидати філологічних наук О.Захарків, П.Ляшкевич, вчителі-методисти: математик — М.Добосевич; фізики — Д.Біда, В.Алексеїчук, Р.Кузик; вчителі іноземної мови — М.Панас та світової культури — В.Дольнікова. Серед них є немало вчителів — володарів престижних соросівських грантів. На базі факультетів університету розроблені авторські навчальні програми з профільних предметів: фізики, математики, іноземної мови, інформатики, хімії, біології, астрономії, які викладають на досить високому науково-методичному рівні.

Щороку на початку травня шляхом конкурсних іспитів з двох профілюючих предметів ліцей організовує відбір восьмикласників у два 9-ті класи фізико-математичного профілю і один — хіміко-біологічного. Призерів предметних олімпіад зараховують на пільгових умовах.

У 1995-96 навчальному році в ліцеї навчалася 300 учнів. Про результати їхнього навчання свідчать цифри: 90 учнів ліцею стали призерами міських предметних олімпіад з математики, фізики, інформатики, хімії, біології, англійської мови, історії, географії, правознавства, 46 — призерами обласних олімпіад, 23 — призерами Всеукраїнських олімпіад, зокрема перше місце в Україні з географії здобув Андрій Харечко (10-Б клас), переможцем з математики став Михайло Нижник (11-Б), призер міжнародної олімпіади в Бомбеї, першим з хімії був Володимир Маріна (11-А), призер міжнародної олімпіади з хімії у Москві.

Щороку, крім предметних олімпіад, діти беруть участь у соросівських олімпіадах з біології, хімії, фізики, математики. В числі призерів цієї відомої олімпіади неодноразово були Максим Морус, Тарас Фітьо, Ярослав Філінчук, Василь Савицький. Цікавою формою інтелектуальних змагань стали вже традиційні Всеукраїнські та міжнародні турніри юних фізиків, у яких команда ЛФМЛ щороку показує хороші результати. Цього року призерами стали Тарас Пацаган, Роман Шопа, Андрій Невідомський, Дмитро Козаков, Максим Морус.

Після закінчення навчання в ліцеї випускники мають право на пільгових умовах — за співбесідою — вступити на факультети: фізичний, механіко-математичний, хімічний та прикладної математики Львівського університету. Проте цими профільними факультетами коло інтересів випускників ЛФМЛ не обмежується. Колишні ліцеїсти є серед студентів інших факультетів (міжнародних відносин, економічного, юридичного), а також вузів — Львівського медичного університету, університету "Львівська політехніка", навчальних закладів Києва та Харкова. Чимало з них є стипендіантами міжнародного соросівського фонду.

На закінчення кілька учнівських відгуків про ліцей:

“Приходячи в ліцей, ми стаємо іншими людьми. Тут зовсім інша атмосфера спілкування. В такій атмосфері, я думаю, і повинна виховуватись українська молодь...”

“Те, що всі колишні і теперішні ліцеїсти приводять до ліцею своїх молодших братів, сестер і просто знайомих, свідчить тільки на користь цього незвичного закладу...”

Р.Кузик



Іван Вакарчук,
головний редактор

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

Редакційна колегія:

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

Художник **В.Гавло**

Комп'ютерний набір і верстка
НВТ "Академічний Експрес"

Адреса редакції:

290054, м. Львів,
вул. Караджича, 29

ДОРОГИЙ ЧИТАЧУ!

Перед Вами "Світ фізики" — перший випуск науково-популярного фізичного журналу. Наш журнал висвітлюватиме як відомі, так і маловідомі фізичні явища, розповідатиме про здобутки українських фізиків, їхній внесок у вітчизняну та світову науку, ознайомлюватиме з цікавими фактами їхнього життя. Ми плануємо розглядати деякі актуальні аспекти викладання фізики в школі, задачі обласних, національних, соросівських олімпіад та турнірів юних фізиків.

У журналі публікуватимемо інформацію про проведення Всеукраїнських та Міжнародних фізичних турнірів, фестивалів, конференцій.

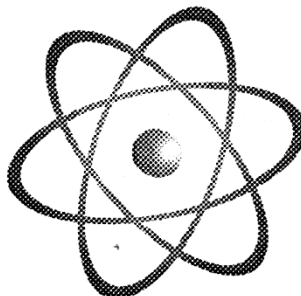
Сторінки журналу "Світ фізики" відкриті для всіх, хто має власні погляди й міркування щодо тієї чи іншої фізичної проблеми, і вже у першому номері журналу ви маєте змогу ознайомитися з статтями студентів молодших курсів фізичного факультету Львівського університету та учнів фізико-математичного ліцею.

Журнал розрахований на широке коло читачів: учителів, студентів, учнів середніх шкіл, усіх, хто цікавиться фізикою.

Редколегія сподівається, що наш журнал допоможе Вам заглибитись у багатогранний і різноманітний світ фізики та зрозуміти його.

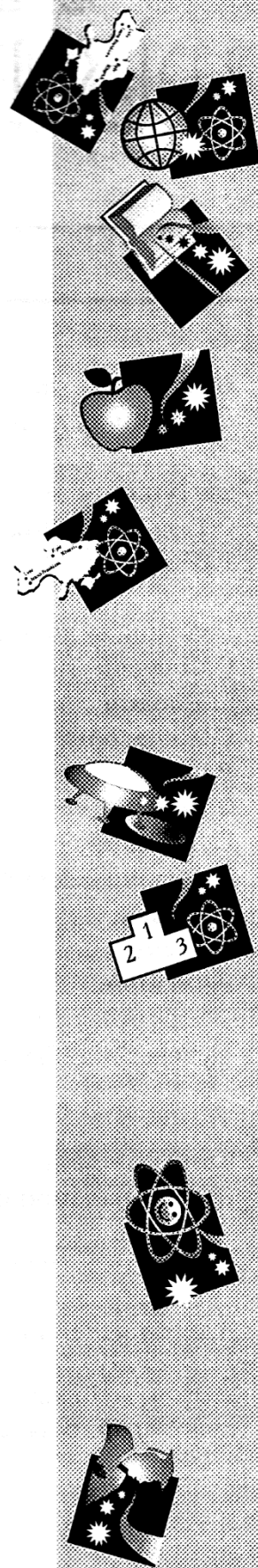
Ми зичимо вам успіхів на шляху пізнання природи!

Редколегія



З М І С Т

1. Нові і маловідомі явища з фізики	
<i>Гальчинський Олександр. Електретний ефект, природа, застосування</i>	3
<i>Федорів Роман. Від всмоктувальної помпи до ядерного реактора</i>	8
2. Про фізиків України	
<i>Гайда Роман. Іван Пулюй — перший український фізик світового рівня</i>	13
<i>Довгий Ярослав. Видатний фізик-теоретик Андрій Лубченко</i>	17
3. Фізика світу	
<i>Біда Дарія. У глибини атома</i>	19
4. Олімпіади, турніри...	22
5. Шпаргалка абітурієнта	
<i>Теличин Ігор. Дві задачі</i>	28
6. Творчість юних	
<i>Фітьо Тарас, Паранчук Роман. Розпізнавання образів з використанням фотоелектретів</i>	30
<i>Пацаган Тарас. Дослідження енергетичного спектру електрично активних дефектів в аморфних і полікристалічних шарах SiO_2 структур Si-SiO_2</i>	32
<i>Морус Максим. "Цар-гармата"</i>	34
<i>Шопа Роман. Дифракція світла на дрібнокоміркових структурах</i>	35
7. Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики	38
8. Конкурс журналу	41
9. Інформація	42
10. Фантастика	44





Електретний ефект, природа, застосування

Канд. фіз.-мат. наук Олександр Гальчинський

Електретним ефектом називають стан стійкої поляризації, який зберігається тривалий час без зовнішнього електричного поля.

Електрет — це тіло, яке має електретний ефект і є електричним аналогом постійного магніту.

Теоретично дослідив стан постійно поляризованих діелектриків наприкінці XIX ст. англійський фізик Олівер Хевісайд, він же увів у фізику науковий термін “електрет” за аналогією з терміном “постійний магніт”, який в англійській мові називається “магнет”. У природі, на відміну від магнітів, електрети не трапляються. Чи можна отримати електрет таким чином, як виготовляють постійні магніти? Намагнічування магнітного матеріалу виконують, поміщаючи його в зовнішнє магнітне поле. Можна спробувати отримати електрет аналогічним способом, поміщаючи діелектрик у зовнішнє електричне поле.

Однак проста аналогія в цьому випадку не спрацювала, технологія отримання і підбір матеріалів виявилися складнішими. Тільки у 1922 році, через тридцять років після теоретичного передбачення О.Хевісайда, Мотоморо Єгучі в Японії вдалося отримати перші електрети. Єгучі поміщав суміш бджолиного воску і пальмової смоли (карноубський віск) з каніфоллю між двома електродами, розтоплював суміш, вмикав напругу і, не знімаючи її з електродів, охолоджував суміш.

Таким способом отримано пластинку діелектрика, яка створювала в навколишньому просторі електричне поле, тобто електрет.

Коли ми розглядаємо електрети як діелектрики, в яких є постійна електрична поляризація, необхідно зазначити, що є ще інші фізичні явища в високоомних діелектриках, зумовлені поляризацією у випадку, коли немає зовнішнього електричного поля. Це відомі явища: піроелектричний та сегнетоелектричний ефекти. Запропонований О.Хевісайдом термін електрет можна було б віднести і до цих наведених вище фізичних ефектів, однак електретами називають такі поляризовані високоомні матеріали, в яких поляризація заморожена, тобто електретний стан є термодинамічно нерівноважним станом. Піроелектричний та сегнетоелектричний ефект з точки зору термодинаміки є рівноважними станами і не є електретними явищами.

Шістдесят років тому, у 1936 р., болгарський фізик Г.Наджаков уперше сформував електретний стан у полікристалічній сірці при одночасній дії електричного поля та світла.

Електрети, які отримав Г.Наджаков під час фотополяризації, названі фотоелектретами, а ті, які отримав Єгучі, — термоелектретами.

Оскільки Г.Наджаков наприкінці 20-х років нашого століття стажувався в Парижі в лабораторії П.Ланжевена і М.Кюрі, про своє відкриття він сповістив П.Ланжевена, а той про відкритий ефект повідомив на засіданні Французької академії наук, закріпивши за Г.Наджаковим з 1937 р. пріоритет відкриття фотоелектретів.

Незважаючи на різні методи виготовлення електретів, спільною для них технологічною операцією є витримка діелектрика в сильному електричному полі протягом певного проміжку часу. Залежно від виду енергії, яка діє на діелектрик під час поляризації разом з електричним полем, розрізняють такі види електретів:

Назва електрета	Спосіб виготовлення
Термоелектрети	Нагрів і охолодження в постійному електричному полі
Фотоелектрети	Дія світла в постійному електричному полі
Радіоелектрети	Дія пучка заряджених частинок високої енергії
Короноелектрети	Дія коронного розряду в оточуючому газовому середовищі
Трибоелектрети	Тертя об металічні або діелектричні предмети

Оскільки є різноманітні методи отримання електретів і електретних матеріалів (полімери, смоли, різні сорти скла, кераміки, кристали), то фізична природа електретного стану в різних випадках може бути різною.



Для електретів, отриманих термополяризацією полярних діелектриків, найбільш імовірно є дипольно-релаксаційна природа електретного стану, а для електретів, отриманих термополяризацією з неполярних діелектриків, електретний стан зумовлений об'ємним електронним чи іонним зарядом, що локалізується відповідно на електронних чи іонних пастках.

Розглянемо ці процеси детальніше. Якщо зовнішнього електричного поля нема, то диполі (полярні молекули) орієнтовані хаотично, а незв'язані (вільні заряди) рівномірно розподілені по об'єму діелектрика. Зрозуміло, що такий діелектрик власного електричного поля не має.

Якщо діелектрик помістити в електричне поле, то диполі орієнтуються за полем. Вільні заряди (іони, електрони) дрейфують в електричному полі і розділяються.

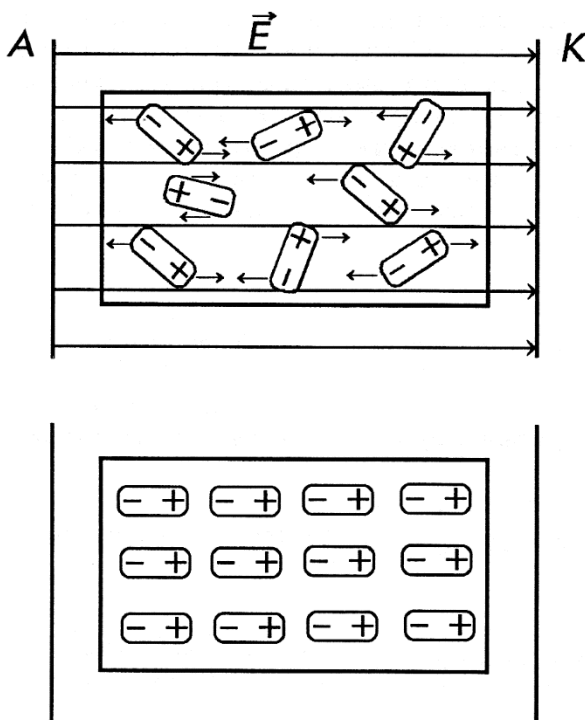


Рис. 1.

Орієнтація диполів і дрейф вільних зарядів відбуваються в часі. Для характеристики процесу поляризації вводять поняття часу релаксації. Час релаксації значно залежить від температури, і, якщо нагріти діелектрик, він зменшується, а диполі орієнтуються в полі (або розорієнтовуються у випадку вимикання зовнішнього електричного поля) значно швидше. Залежно від енергії активації орієнтації диполів, або енергії активації дрейфового руху вільних

зарядів, у тих чи інших діелектриках орієнтаційний рух диполів (дрейфовий рух вільних зарядів) при кімнатній температурі може бути заморожений, а при вищих температурах відбуватися досить ефективно, і саме в таких матеріалах можна створити електретний стан методом термополяризації.

Для фотоелектретів, у яких фотоелектретний стан створюється у випадку одночасної дії електричного поля і світла, що викликає власну чи домішкову фотопровідність, природу фотоелектретного стану (ФЕС) пов'язують з об'ємним зарядом, який утворюється внаслідок неоднорідного заповнення електронами та дірками відповідно електронних і діркових пасток.

У чому ж полягає особливість фотоелектретів? Фотоелектрети характеризуються тим, що утворюються (поляризуються) у випадку одночасної дії електричного поля і світла, яке фотогенерує носії заряду. Фотогенеровані носії заряду у процесі фотополяризації під дією зовнішнього електричного поля зміщуються в об'ємі зразка (електрони в напрямку анода, а дірки в напрямку катода).

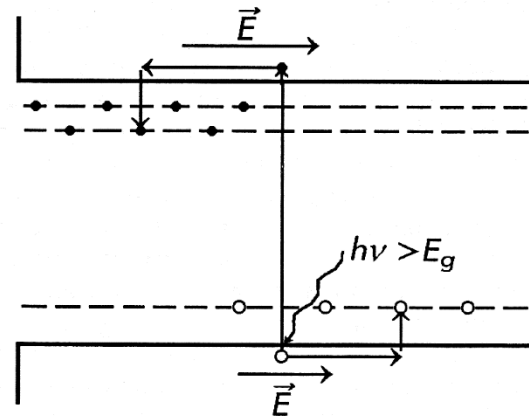


Рис. 2.

Через деякий час життя нерівноважні (фотогенеровані) носії заряду заповнюють відповідно електронні й діркові центри прилипання, які іноді називають відповідно електронними й дірковими пастками. Центрами прилипання можуть бути структурні або домішкові дефекти, які мають властивість захоплювати носії одного знака, причому процеси рекомбінації на таких центрах практично не відбуваються. Отже, під час одночасної дії на зразок світла й електричного поля в прианодній області зразка будуть заповнюватися тільки електронні центри прилипання, а генеровані світлом дірки за час



життя зможуть віддрейфувати з прианодної області в глибину зразка. Аналогічно в прикатодній області зразка будуть заповнюватись діркові центри прилипання, а електрони за час життя віддрейфовують знову в глибину зразка. Тому прианодна область зразка буде мати від'ємний заряд, прикатодна — додатний, а об'єм зразка буде електронейтральним (однаковою мірою будуть заповнені діркові й електронні центри прилипання).

Створені таким чином об'ємні заряди будуть існувати деякий час, який залежить від темної провідності зразка, якщо спочатку вимкнути світло, а потім зовнішнє електричне поле. Створений у процесі фотополяризації фотоелектретний стан є нерівноважним станом кристала, і тому кристал повільно релаксує до свого рівноважного стану. Час релаксації фотоелектретного стану в темноті буде досить тривалим, оскільки темнова провідність високоомних фотопровідників незначна, а під дією світла, яке генерує у фотопровіднику носії заряду, час релаксації буде значно коротшим.

Електретний стан може створюватись як без обміну носіями заряду електродів і зразка, так і з обміном. У першому випадку зразок є в цілому електронейтральним, а електретний стан утворюється за рахунок орієнтації диполів або перерозподілу носіїв заряду іонної чи електронної природи. У зв'язку з цим поверхня зразка, яка прилягає до катода, заряджається позитивно, а та, що прилягає до анода — негативно. Електретний заряд, утворений цим способом, називається гетерозарядом.

Якщо наявний обмін носіями заряду між електродами і зразком, у приелектродних ділянках зразка разом із зміщеними носіями заряду будуть локалізуватись інжектвані з електродів носії.

У цьому випадку можна спостерігати досить складний просторовий розподіл зарядів. Залежно від умов поляризації, характеру контакту, рухливості носіїв заряду в зразку буде переважати або гетеро-, або гомозаряд.

Електретний ефект можна спостерігати за наявністю електричного поля, яке він створює в навколишньому просторі, або за наявністю поверхневої густини електричного заряду чи потенціалу. Дослідження цих фізичних параметрів електретів, зрозуміло, не приводить до руйнування електретного стану. Електретний ефект також вивчають методами, які приводять до руйнування електретного стану (деполяризаційні). Це методи термодеполізації для термо-, короно-, радіоелектретів та фото-

деполяризації для фотоелектретів. Є ще низка наукових методів, за допомогою яких вивчають просторовий розподіл електретних зарядів, час існування електретного стану.

Застосування електретів має два напрями: фізико-технічний і науковий.

У першому випадку використовують властивість електретів бути джерелом електричного поля. Для цього застосовують, як звичайно, електрети з тривалим часом релаксації електретного стану ($t \geq 100$ років). Це в основному термо-, короно-, радіоелектрети. Напрямки їх застосування такі: електретні мікрофони, форсунки, судинні протези, фільтри, дозиметри. Як працюють ці прилади?

Мембрана мікрофона утворює емність із сигнальною пластиною, яка сполучена із входом підсилювача низької частоти. Якщо на мембрану потрапляє акустична хвиля, мембрана під дією акустичної хвилі вимушено коливається, внаслідок чого змінюється відстань між мембраною і сигнальною пластиною. Якщо мембрана має сталий поверхневий електричний заряд, то зі зміною відстані між електретною мембраною і сигнальною пластиною буде змінюватись з частотою коливань мембрани потенціал сигнальної пластини. Електретні мікрофони дуже чутливі і мають добрі частотні характеристики, оскільки маса електретної мембрани дуже мала.

Форсунка з електретного матеріалу своїм електричним полем поляризує рідину (наприклад, воду) і якщо в поляризованому стані вода подрібнюється на краплі, то такі краплі будуть мати електричні заряди. Зрозуміло, електретна форсунка працює без зовнішніх електричних джерел живлення. Вода, розпилена електретною форсункою, дає у 10-15 разів більше заряджених крапель, ніж вода, розпилена звичайною форсункою. Заряджені краплинки води за рахунок електростатичної взаємодії більш енергійно захоплюють пил із повітря. Тому електретні форсунки дуже широко використовують у вугільних шахтах, де багато пилу.

Електретний фільтр — це електретна плівка, порізана на тонкі смужки, які щільно заповнюють весь об'єм фільтрувального елемента. В мікропроміжках між окремими смужками є неоднорідні електричні поля, в яких, як відомо, пилінки, в яких є або індукується електричний дипольний момент, будуть втягуватись в область максимальної напруженості електричного поля (тобто електретний фільтр працює як електрофільтр, але без зовнішніх джерел енергії).



Елементи крові — еритроцити, тромбоцити, лейкоцити — заряджені від'ємно. Внутрішні стінки судини теж мають від'ємний заряд. Можливо, цим пояснюється те, що кров маючи велику молекулярну вагу, легко проходить по вузьких капілярах. Коли медики приступили до використання штучних судин, щоб відновититік крові через судини, закриті тромбом, то виявили, що такі штучні судини, незважаючи на достатній переріз, теж швидко перекривались тромбами, і тільки використання штучних судин з від'ємним електретним зарядом на внутрішній стороні дало змогу ефективно використовувати їх у медичній практиці.

Фотоелектрети застосовують для запису інформації (нітрид кремнію в мікроелектроніці Se, ZnS, CdS, ZnO в техніці ксерокопіювання). Про можливе застосування фотоелектретів у техніці розпізнавання образів (предметів) йтиметься у статті Т.Фітя та Р.Паранчука "Розпізнавання образів з використанням фотоелектретів".

Наукове застосування електретного ефекту будуватиметься на аксіомі про те, що електретний ефект пов'язаний з наявністю дефектів в електретних матеріалах. Зрозуміло, що центри захоплення, необхідні для локалізації електронів і дірок, домішкові іони, що за певних умов можуть бути вільними, а при інших локалізуються, — є в широкому розумінні дефектами твердого тіла. Відомо, що дослідження дефектів є одним з пріоритетних напрямків фізики твердого тіла. І тому, вивчаючи електретний ефект методами термо-, фотостимульованої деполяризації, можна отримати важливу інформацію про термічну енергію активації, перетин захоплення дефектних центрів, область фоточутливості досліджуваних матеріалів. Причому електретні методи дослідження мають іноді певні переваги над іншими близькими за своєю фізичною суттю методами дослідження дефектів у твердих тілах: фотопровідність, термостимульована провідність. Перевага полягає в тому, що у випадку дослідження електретними методами не обов'язково наносити контакти на досліджуваний зразок. Відомо, що нанесення контактів може неконтрольованим чином вплинути на дефектну структуру зразка у приконтактній області, а також те, що вплив контактних явищ на низку фізичних ефектів є неоднозначний (наприклад, випрямна роль контактів).

Переваги безконтактного способу дослідження властивостей дефектів є суттєвими, якщо досліджують нові матеріали, контактні явища в

яких ще не вивчені, а також матеріали лазерної техніки, які технічно використовують без контактів.

Більш детально про використання електретного ефекту для дослідження дефектів структури на фізичні властивості діелектриків можна дізнатись зі статті Т.Пацагана "Дослідження енергетичного спектра електрично активних дефектів в аморфних і полікристалічних шарах SiO₂ структур Si-SiO₂".

МЕТОДИКА ТА ІНФОРМАТИВНІСТЬ МЕТОДУ ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНОЇ ДЕПОЛЯРИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРЕТІВ

Метод термостимульованої деполяризації (ТСД) використовують для дослідження різних типів електретів, але розглянемо його реалізацію та інформативність у випадку застосування до вивчення фото- та термоелектретів. Суть цього методу полягає в реєстрації струму розряду електретного заряду під час нагрівання електрета зі сталою швидкістю. Струм ТСД як функція температури, як звичайно, має не монотонну структуру (рис. 3).

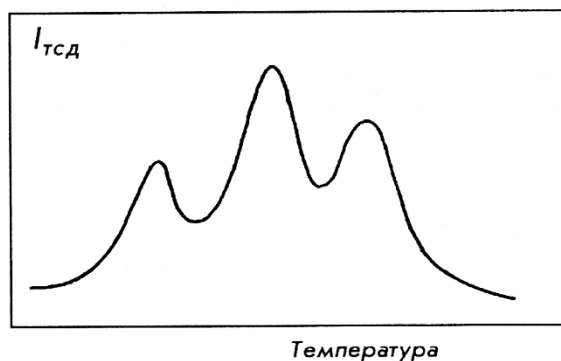


Рис. 3.

Така температурна залежність струму ТСД свідчить про те, що в досліджуваному зразку є декілька типів дефектів, які зумовлюють утворення електретного стану.

Проаналізуємо випадок фотоелектретного стану. Він утворюється за рахунок неоднорідного заповнення центрів прилипання фотогенерованими носіями в процесі фотополяризації (рис. 2).

Під час нагрівання такого фотоелектрету при певних температурах буде відбуватися термогенерація носіїв заряду із центрів прилипання у відповідну зону, що приведе до появи струму розряду електретного стану. Зрозуміло, що в



початковій фазі термогенерації струм буде наростати, а в міру виснаження кількості носіїв на центрах прилипання цього сорту, почне спадати. Коли температура ще підвищиться, почнеться процес термогенерації з інших центрів прилипання і з'явиться новий максимум струму ТСД. На підставі експериментально отриманих температурних залежностей струму ТСД можна розрахувати енергію активації і заповнення центрів прилипання.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ФОТОЕЛЕКТРЕТНОГО СТАНУ

Фізична суть методу спектральної чутливості фотоелектретного стану (СЧ ФЕС) тотожна фотоелектричній чутливості. Однак, на відміну від методу класичної фотопровідності, в методі СЧ ФЕС зміщення фотоносіїв, генерованих світлом, відбувається внутрішнім електричним полем фотоелектрета. Експериментально СЧ ФЕС визначається за спектральною залежністю струму, що виникає під час збудження фотоелектрета слабоінтенсивним світлом різних довжин хвиль, нормованим на однакову кількість квантів. Справедливість цього методичного підходу можна обґрунтувати на основі означення СЧ ФЕС: $S_{\lambda} = \Delta Q / Q_0 L \Delta t$;

$$S_{\lambda} = \Delta Q / Q_0 L \Delta t = i_{\lambda} dt / Q_0 L dt = i_{\lambda} / Q_0 L = k i_{\lambda} ,$$

де ΔQ — зміна фотоелектретного заряду; Q_0 — фотоелектретний заряд; L — інтенсивність світла; i_{λ} — струм фотополяризації.

Із наведеного співвідношення видно, що спектральна залежність фотодеполяризаційного струму збігається з СЧ ФЕС за умови сталості під час експерименту величин Q_0 і L .

Дослідження СЧ ФЕС, на відміну від досліджень фотопровідності, виконують безконтактним методом, про переваги якого зазначено вище.

На рис. 4 показана СЧ ФЕС кристалів CdJ_2 (1) та CdJ_2 -Cd (2) при температурі 290 К.

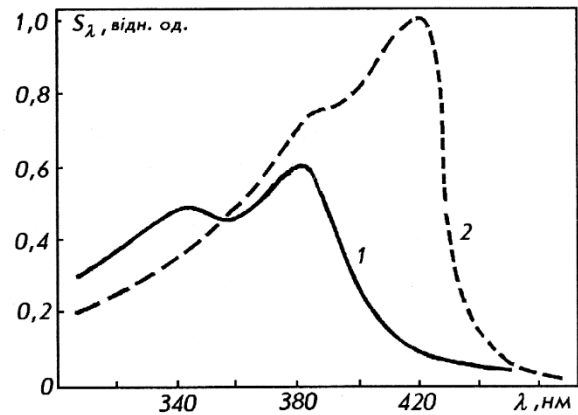
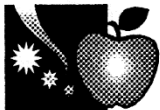


Рис. 4.

На графіках видно три області фото-чутливості в області довжини хвиль $\lambda_1 \cong 350$, $\lambda_2 \cong 390$, $\lambda_3 \cong 420$ нм. У цих кристалах фото-чутливість у першій та другій області зумовлена міжзонними переходами, а в третій області — переходами з домішкових центрів в одну із дозволених зон.

Сподіваємось, що наше коротке повідомлення ілюструє фізичну суть, практичне значення електретної методики дослідження дефектів структури в твердих тілах і практичне використання електретів.

Мабуть, у читача виникає питання: чому магніти відомі всім, а про електрети говорять у вузькому колі спеціалістів? Відповіді на нього можна так: по-перше, електрети вивчають порівняно недавно, а тому в шкільних і вузівських підручниках з фізики про електрети практично нічого не написано, і їхні властивості маловідомі широкому колу інженерів, винахідників. А перспективи їх застосування важко переоцінити.



Від всмоктувальної помпи до ядерного реактора

Роман Федорів,
канд. фіз.-мат. наук

“Не довго по відкриттю лучів Рентгена наука могла повеличатись новим здобутком. В році 1896 відкрив Беккерель, що уран і його сполучення висилають лучи для ока невидимі.

...Докладніші досліджи показали, що лучи не виникають під впливом світла, бо уран і його сполучення випромінюють лучи і тоді, коли його помістити в темряву і навіть через кілька літ”

Софрон Матвіяс.

Децо про лучи Беккереля. Збірник
Наукового Товариства ім. Т.Шевченка.
т.7, вип.1, 1900 р., 8 с.

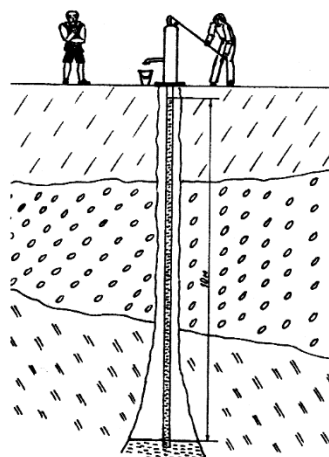
Всяка наука — це система знань про той предмет, який ця наука описує. Поки наука не сформувалася, знання нагромаджуються від випадку до випадку, як знання про інший предмет чи інші предмети в рамках існуючих на той час наук. У якийсь момент хтось відкриває новий предмет досліджень. Попередні знання переосмислюються стосовно нового предмета. Будується система знань про новий предмет, тобто нова наука. Надалі дослідження йдуть в основному цілеспрямовано і стосовно означеного предмета досліджень, оскільки система знань уже сама показує (виявляє) його недосліджені сторони, стає видно, яких знань ще бракує для завершення побудови системи знань — науки про конкретний предмет.

Повчальною і цікавою з цього погляду є історія становлення наук про електричні розряди у газах, про рентгенівські промені, про перетворення атомних ядер і явища радіоактивності, про будову речовини.

Сьогодні ми знаємо, що електричні розряди у газах — це протікання електричного струму через газове середовище, катодні промені — це потік електронів, рентгенівські та гама-промені — потоки енергії у вигляді електромагнітних коливань з частотою 10^{17} - 10^{20} Гц. Ядерні випромінювання — це потоки частинок (електронів, позитронів, нейтронів, нейтрино, атомних ядер) і енергії у вигляді високочастотних електромагнітних коливань, що утворюються під час ядерних реакцій чи радіоактивного розпаду. Іхньому відкриттю передували навіть непри-

четні на перший погляд результати досліджень багатьох фізиків.

Історію вчення про ядерні випромінювання, напевне, слід починати від тих давніх часів, коли невідомо ким була винайдена всмоктувальна помпа. Властивість цієї помпи — піднімати воду тільки до висоти 10 метрів — була загадкою протягом багатьох віків. Знаменитий Галілей (1564-1642) припустив, що це дивне явище пов'язане з атмосферним тиском. Один з його учнів — Торрічеллі (1608-1647) — перевірів припущення свого вчителя. Перевірка не тільки була успішною, але навіть завершилася створенням водяного барометра. Барометр вийшов громіздким, і сам Торрічеллі дійшов висновку, що його прилад можна зробити компактнішим, якщо використати замість води важчу рідину, наприклад, ртуть. У 1643 р. цю ідею реалізував також учень Галілея Вівіані (1622-1703). Він створив перший ртутний барометр, стовпчик ртуті якого у перевернутій скляній трубці довжиною 1 м сягав висоти приблизно 75 см над вільною поверхнею ртуті.



Мал.1. Галілей:
“Всмоктувальна помпа піднімає воду тільки до 10 м. Торрічеллі, перевір, будь ласка, це, мабуть, зумовлене атмосферним тиском.”

У 1675 р. Пікар переносив ртутний барометр до темної кімнати і випадково виявив, що у вакуумній частині трубки барометра спалахує світло. Це явище було загадкою аж до відкриття у 1831 р. Фарадеєм (1791-1867) електромагнітної індукції і створення індукційної котушки. Стало зрозумілим, що свічення виникає при сильному градієнті напруженості електричного поля, що створюється внаслідок тертя деякого одягу.



Надалі з'явилася можливість викликати свічення прикладанням до трубок високої напруги. Більше того, екзотичне свічення привернуло увагу багатьох талановитих фізиків, які виготовляли довгі скляні трубки, впаювали в них електроди, створювали різний тиск і газовий склад. Створенням спеціальних газорозрядних трубок відзначилися Гітторф (1824-1914), Крукс (1832-1919), Пулюй (1845-1918). Всесвітньо відомі трубки Гітторфа, Круксові трубки, трубки Пулюя. У 1869 р. Гітторф спостерігав і описав властивості катодних променів. Інші властивості катодних променів (механічну дію, прямолінійне розповсюдження, викривлення траєкторії магнітним полем) дослідив Крукс, основні результати якого припали на 1879 р.



Мал. 2. Пікар побачив, що вакуумна частина ртутного барометра світиться.

Особливо досконалыми були газорозрядні трубки нашого земляка Івана Пулюя, на яких він здійснив фундаментальні дослідження газорозрядних процесів. Результати досліджень Пулюй опублікував у 1880-1882 р. у серії статей, під назвою "Strahlende Elektrodenmaterie" (Матерія, що випромінюється електродами). В одній із статей цієї серії, датованій 30 березня 1882 р. Пулюй описує "...скляну трубку, в середині якої під кутом розташована слюдяна пластинка, покрита сірчанним калієм. Над слюдяною пластинкою розташований набагато менший анод. ...При світлі цієї лампи можна читати на віддалі до 4-5 м". Про цю незвичайну трубку ще згадаємо.

У грудні 1895 р. на засіданні вірцьбурського фізико-медичного товариства Рентген (1845-1923) виступив з попереднім повідомленням про відкриті ним невидимі промені. Він припустив, що згідно з його дослідями кожне місце стінок газорозрядної трубки, на яке потрапили видимі

катодні промені, є головною вихідною точкою нових променів.

Пулюй відгукнувся на це повідомлення двома статтями, датованими 13 лютого і 5 березня 1896 р. Він експериментально підтвердив правильність припущень Рентгена про місце виникнення нових променів. Пулюй підкреслює, що супроти припущення Крукса, видимі катодні промені йдуть майже виключно тільки у напрямі до анода. Він експериментально визначив "...що на зворотній від катода стороні анода рентгенівські промені майже не виникають". Для перевірки правильності припущень Рентгена про точки виходу нових променів Пулюй використав сконструйовану на 14 років раніше (1882) особливо фосфоресцюючу лампу з розташованим під кутом антикатодом. Ця трубка була флуоресцентною лампою, джерелом світла і одночасно потужним джерелом невидимих променів, відкритих випадково (у грудні 1895 р.) Рентгеном. Трубка Пулюя з розташованою під кутом пластинкою (антикатодом) довго була найкращим джерелом рентгенівських променів. Нею користувалися власне як джерелом рентгенівських променів багато визначних фізиків, у тому числі і сам Пулюй.



Мал.3. 1882 рік. Іван Пулюй створив газорозрядну лампу, при світлі якої можна читати на відстані 4-5 метрів.

Грудень 1895 р. Рентген відкрив, що ця трубка випромінює невидимі промені.

Лютий 1896 р. Пулюй описав ці промені і назвав їх рентгенівськими. Пулюй і Рентген були ровесниками і колегами. Вони разом вчилися у знаменитого електротехніка Кундта.

Зауважимо, що статті Пулюя "Про виникнення рентгенівських променів (Röntgen'schen Strahlen) і їх фотографічну дію" з'явилися через два-три місяці після публікації Рентгена. Малоімовірно, щоб хтось раніше відізвався про відкриття Рентгена. Тому термін "рентгенівські промені" (Röntgen'schen Strahlen) належить, напевне, власне Пулюю. Ровесники Пулюй і



Рентген у 1875-1877 р. у Страсбурзі разом вивчали електротехніку у відомого фізика-експериментатора Кундта (1839-1894). Вони активно спілкувалися. Тому введений Пулюєм термін Röntgen'schen Strahlen вказує на шляхетні відносини між знаменитими людьми.

З політичних причин ім'я Пулюя замовчували, воно було усунуте з бібліографічної та енциклопедичної літератури. Така доля непокірних знаменитостей поневолених народів. Суверенна Україна відновлює пам'ять про своїх видатних людей. Фундаментальні праці Пулюя про "матерію", що випромінюється електродами (Strahlende Elektrodenmaterie), спричинилися не тільки до відкриття Рентгеном нового виду променів. Вони стали основою для створення джерел денного світла, електронно-променевих трубок, у тому числі кінескопів для телебачення, газорозрядних детекторів ядерних випромінювань.

Три покоління знаменитих французьких фізиків — дід Беккерель Антуан Сезар (1788-1878), батько Беккерель Олександр Ермон (1820-1891) і син Беккерель Антуан Анрі (1852-1908) — досліджували фосфоресценцію, 24 лютого 1896 р. Анрі Беккерель на засіданні Паризької академії наук виступив з повідомленням "Про радіацію, випромінювану фосфоресценцією". Він виявив, що після опромінення сонячним світлом кристали двійного сульфату уранілу і калію $K_2[U_2(SO_4)_2](H_2O)_2$ випромінюють радіацію, що проходить через світлонепроникний папір і засвічує фотоемульсію. 2 березня цього ж року Беккерель виступив з новим повідомленням "Про невидиму радіацію, випромінювану фосфоресціючими тілами". Він виявив, що радіація не залежить від попередньої дії сонячного світла на фосфоресціючу речовину і "...не може бути приписане випромінюванню видимого світла, що виникає шляхом фосфоресценції". Далі "...це випромінювання, дія якого дуже подібна до дії випромінювань, які вивчали Ленард і Рентген, є невидимими променями, які породжуються не шляхом фосфоресценції, але з тривалістю свічення фосфоресціючих тіл".

Отже, 2 березня 1896 р. завершився перший етап становлення науки про ядерні випромінювання — відкриття предмета вивчення — власне випромінювання речовини (калій-уран-сульфату), яке не спровоковане зовнішніми факторами.

Надалі відбувається цілеспрямоване вивчення предмета. 9 березня 1896 р. Беккерель зробив повідомлення "Про деякі властивості невидимої радіації, випромінюваної різними фосфо-

ресціючими тілами", в якому йшлося про виявлену властивість невидимої радіації розряджати наелектризовані тіла. 23 березня Беккерель повідомляв "Про невидиму радіацію, яку випромінюють солі урану", де наводив нові результати експериментів, а власне: що радіацію випромінюють різні солі урану, і що вона поглинається різними речовинами. 30 березня 1896 р. Беккерель зробив нове повідомлення, в якому зіставив виявлені ним властивості невидимої радіації солей урану з випромінюванням стінки антикатада трубки Крукса. 18 травня цього ж року Беккерель повідомив про "Випромінювання нової радіації металічним ураном", в якому навів "перший приклад металу, що представляє явища одного порядку з невидимою фосфоресценцією". 12 квітня 1897 р. Беккерель констатував, що активність уранових солей за рік спостережень практично не змінилася. У 1897 р. Чарльз Вільсон (1869-1959) винайшов "лічильник порошинок", пізніше названий іонізаційною камерою Вільсона, яка стала знаменитим інструментом експериментальної ядерної фізики. 1897 рік ознаменувався також відкриттям електрона. Дж.Дж.Томсон експериментально визначив, що катодні промені — це потік заряджених частинок, маса яких у 1800 разів менша від маси іона водню. Такі ж експериментальні результати отримав Віхерт з Німеччини.

Розвиток науки про ядерні випромінювання вже можна розділити за напрямками: виявлення і вивчення джерел випромінювань, дослідження властивостей власне випромінювань і дослідження ефектів взаємодії випромінювань та речовини.

У 1898 р. Шмідт цілеспрямовано перевіряв елементи на радіоактивність і виявив, що, крім урану, радіоактивним є торій і його сполуки. Явище радіоактивності він пов'язав з високими атомними масами: торій-232, уран-240. У цьому ж році П'єр і Марія Кюрі виділили із смоляної обманки "...метал, ще не описаний і є за своїми аналітичними властивостями сусідом вісмута. Якщо існування нового металу підтвердиться, ми пропонуємо назвати його полонієм, по імені батьківщини одного з нас". І далі "...його відкриття відбулося виключно завдяки новому способу досліджень, який нам дають промені Беккереля". Разом з Бемоном подружжя Кюрі виділили із уранових відходів "речовину, яка містить ...деякий новий елемент, що надає йому властивостей радіоактивності і дуже близький за своїми хімічними властивостями до барію". Новий елемент вони запропонували назвати радієм.



1899 рік. Резерфорд (1871-1937) електрометричним методом виявив неоднорідність випромінювань урану. Ту частину випромінювання, що краще поглинали різні матеріали, він назвав α -променями. А ту частину, яку поглинали менше, — β -променями.

У 1900 р. наш земляк із Тернополя Софрон Матвіяс опублікував працю, у якій зіставив і узагальнив результати досліджень Беккереля, Шмідта, Кюрі-Склодовської, Резерфорда, а також результати досліджень катодних променів і газового розряду взагалі. На жаль, ми поки що майже нічого не знаємо про Софрона Матвіяса. Але з його статті бачимо, що він був високоосвіченою людиною, прекрасно володів науковою інформацією з перших рук. Феноменальними є його твердження: “Всяка електрична провідність є рухом електронів; ...від'ємні електрони з декотрими іонами газовими відкидаються від катода і утворюють катодальні лучі... Атом ...не є неподільний, коли його частини висилані як лучі”.

У 1900 р. Війяр (Villard) виявив новий вид випромінювань у радіо. Промені не відхилялися у магнітному полі і були подібними до рентгєнівських. Пізніше (у 1903 р.) Марія Склодовська-Кюрі назвала їх γ -променями.

У 1903 р. П'єр Кюрі і Лаборд виявили, що температура солей радіо RaCl_2 приблизно на півтора градуса вища від температури навколишнього середовища. Вони підраховали, що 1 г радіо виділяє тепла близько 100 калорій за годину, і дійшли висновку, що “...неперервне виділення такої кількості тепла не можна пояснити звичайними хімічними перетвореннями. Якщо шукати причину утворення тепла в якихось внутрішніх перетвореннях, то ці перетворення повинні бути складнішої природи і викликані якимись змінами власне атому радіо”. У 1904 р. Мак-Клелланд дослідив, що кожна частинка з еманції (витоку) радіо за час пробігу утворює $6 \cdot 10^9$ іонів. Мак-Кой і Болтвуд експериментально підтвердили передбачення Томсона та Резерфорда про походження радіо від урану. Аналізуючи ряд продуктів розпаду урану, Содді в 1905 р. дійшов висновку, що в кінці ряду має бути свинець або вісмут. Такий же висновок зробив і Болтвуд. В 1908 р. Резерфорд і Гайгер виміряли заряд α -частинки і довели, що α -частинка ідентична подвійно іонізованому атому гелію. Баркла і Сандлер, опромінюючи різні речовини катодними та рентгєнівськими променями, експериментально відкрили характеристичне випромінювання і виявили залежність його довжини хвилі від атомного номера випромінюючого елемента.

Власне Баркла виявив два ряди (за довжиною хвилі) характеристичних променів і назвав їх K - і L -випромінюванням. На цих фундаментальних результатах ґрунтується пізніше розроблена Мозлі теорія електронних оболонок атома. В 1911 р. Резерфорд на підставі результатів досліджень розсіювання α - і β -частинок речовиною запропонував нову модель атома: центральний масивний заряд, навколо якого обертаються електрони.

У 1912 р. Ів з Канади та Штарк і Майєр з Німеччини на підставі експериментів дійшли висновку, що γ -промені мають однакову природу з рентгєнівськими променями і відрізняються більшою енергією. Фрідріхс, Кніппінг і Лаєе виявили явище дифракції рентгєнівських променів на кристалі сульфїду цинку, на підставі чого розробили метод вимірювання довжини хвилі. Вони показали, що рентгєнівські промені і світло є однієї природи і відрізняються довжиною хвилі.

Геветі, досліджуючи хімічні властивості радіоактивних елементів, виявив, що α - і β -випромінювання викликають протилежні зміни хімічних властивостей. Рассел сформулював правила зсуву: внаслідок α -розпаду радіоактивний елемент переходить на дві клітини (у періодичній системі елементів) вліво, а при β -розпаді — на одну клітину вправо або вліво.

1914 рік. Резерфорд і Андраде на підставі досліджень взаємодій γ -променів і речовини довели, що γ -промені є електромагнітним випромінюванням. Вони виявили дифракцію γ -променів на кристалічній ґратці. У 1923 р. Комптон відкрив явище розсіювання рентгєнівських променів на електронах (Комптон-ефект). Суть явища полягає у тому, що розсіяні промені мають більшу довжину хвилі.

Рассел висунув гіпотезу про можливість існування четвертого радіоактивного ряду, так званого $4n+1$. Родоначальником ряду він передбачав U^{237} , а кінцевим продуктом — стабільний вісмут Bi^{209} . Насправді родоначальником такого ряду є нептуній Np^{237} .

Де Бройль узагальнив дуалізм хвильових і корпускулярних властивостей електромагнітних випромінювань на матеріальні частинки. Він запропонував корпускулярний дуалізм, що частинка масою m , яка рухається зі швидкістю v , характеризується довжиною хвилі $\lambda = h/mv$, де h — стала Планка. Бозе застосував квантову статистику, яка описує розподіл фотонів за енергіями. Айнштайн використав результати Бозе для опису розподілу молекул ідеального газу. Згідно зі статистикою Бозе-Айнштайна кількість частинок з цілочисловим спіном у



кожному квантовому стані може бути і більше від одиниці.

Блекетт, вивчаючи зіткнення α -частинок з ядрами азоту, виявив і пояснив утворення ізотопа кисню O^{17} і протона.

Паулі сформулював принцип заборони (принцип Паулі), згідно з яким в одному стані, що характеризується набором квантових чисел, може бути тільки один електрон.

Ліза Майтнер експериментально довела, що атомні ядра після α - чи β -розпаду випромінюють γ -промені.

Шредингер вивів хвильове рівняння, яке лягло в основу квантової механіки, атомної та ядерної фізики. Фермі та Дірак розробили квантову статистику (статистику Фермі-Дірака), яка описує енергетичний розподіл частинок з напівцілим спіном. Статистика Фермі-Дірака пояснює принцип заборони Паулі, а відповідно і будову електронних оболонок атома. Гайзенберг вивів співвідношення невизначеності, згідно з яким є межа, у якій можуть бути значення координати x та імпульсу p_x частинки, тобто

$$\Delta x \cdot \Delta p_x > h, \text{ де } h \text{ — стала Планка.}$$

Експериментально спостерігали дифракцію (хвильові властивості, передбачені де Бройлем) електронів: Девіссон і Джермер при відбиванні електронів від кристала, Томсон і Рейд при проходженні електронів через тонку металічну фольгу.

Гамов, а також Герні і Кондон на основі квантової механіки розробили теорію (пояснення явища) α -розпаду і ввели поняття тунельного ефекту для імовірного опису виходу α -частинки з потенціальної ями у випадку дефіциту енергії.

Будова атомного ядра була з'ясована після відкриття у 1932 р. Чедвіком нейтрона. Ідею протонно-нейтронної будови ядра у тому ж таки 1932 р. запропонували Іваненко і Гайзенберг. Кількість протонів Z визначає заряд ядра. Навколо ядра збирається така ж кількість Z електронів, які нейтралізують заряд ядра і разом утворюють атом. Число Z збігається з порядковим номером хімічного елемента в таблиці періодичних елементів. Протони і нейтрони називають одним словом — нуклони. Кількість нуклонів A називають масовим числом атомного ядра.

У 1938 р. німецькі фізики Ган і Штрасман, виявили, що під дією нейтрона ядро урану-238 ділиться приблизно наполовину: на барій-138 і мазурій-101 (У 1947 р. названий технецієм). У 1939 р. австрійські фізики Ліза Майтнер і Отто Фріш дали теоретичне пояснення спостережень Гана і Штрасмана. Вони писали: "На перший погляд цей результат дуже важко зрозуміти...

Але на основі нових уявлень про поведінку важких ядер виникає зовсім інша картина нових процесів розпаду. Виявляється можливим, що ядро урану має тільки незначну стійкість форми і може після захоплення нейтрона поділитися на два ядра приблизно однакового розміру".

У 1940 р. Петржак і Фльоров виявили спонтанне (самовільне) ділення ядер урану.

Кінетична енергія осколків ділення урану та інших трансуранових елементів становить близько 200 мегаелектронвольт. Осколки швидко гальмуються у середовищі, віддаючи йому свою енергію на нагрівання, іонізацію та інші перетворення. На цьому ґрунтується використання ядерної енергії.

Використання ядерної енергії багатогранне. Потоки ядерних частинок і квантів електромагнітних коливань використовують як носії відомостей про властивості матеріалів, об'єктів та середовищ (γ -дефектоскопія, ядерне легування напівпровідникових матеріалів, γ - та нейтронна гама-каротаж у геофізиці, кількісний аналіз недоступних середовищ шляхом спектрометрії γ -випромінювань атомних ядер унаслідок непружного розсіювання швидких нейтронів, радіаційного захоплення теплових нейтронів, внаслідок активації).

Ядерну енергію для зручності використання перетворюють у електричну та теплову. Сьогодні ядерна енергетика є визначальною для функціонування господарських підприємств та закладів життєзабезпечення населення.

Проте енергія ядерних частинок (α -, β -частинок, нейтронів, продуктів поділу ядер) та γ -квантів є руйнівною для живої тканини та матеріалів, оскільки в 10^5 - 10^6 разів перевищує енергію зв'язку (міцність) молекул та атомів. Тому, відзначаючи 100-ліття відкриття радіоактивності, потрібно пам'ятати, що ядерна енергія, як і дуже гострий ніж, є надзвичайно корисною і надзвичайно небезпечною. Ще у 1895 р. помічник Рентгена В.Груббе, працюючи з джерелами рентгенівських променів, отримав радіаційний опік рук. Сильні радіаційні опіки шкіри отримав першовідкривач радіоактивності А.Беккерель. Першою променевою хворобою мала невтомна Марія Кюрі-Скłodowska. Лиха державного масштабу заподіяла Україні аварія на Чорнобильській атомній електростанції десять років тому.

Але людська цікавість здобуває щораз нові і нові знання, дає людям надпотужні засоби для творіння цивілізації, які, на жаль, можуть бути і засобами глобальної руйнації.

(Ілюстрації намалював Тарас Федорів)



ІВАН ПУЛЮЙ — ПЕРШИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИК СВІТОВОГО РІВНЯ

Серед українських вчених, що сягнули вершин європейської і світової науки, одне з почесних місць належить Іванові Пулюєві. Своєю науковою і технічною діяльністю він заслужив широке міжнародне визнання. Але до недавнього часу залишався майже невідомим в Україні, на рідній Батьківщині, для кращого майбутнього якої невтомно працював поза її межами впродовж усього життя.



Prof. I. Puluj

Сьогодні великий син України вже повернувся до нас. У 1995 р. на державному рівні відзначено 150-річний ювілей Івана Пулюя. Проведено урочисті збори в Тернополі, Києві та Львові, відбулися міжнародні наукові конференції, присвячені вченому, опубліковано чимало матеріалів про його життя і творчість. В 1996 р. видано книгу "Іван Пулюй. Збірник праць" з перекладами і перекладами його статей і книг. Проте

чимало сторін діяльності І.Пулюя залишаються слабо вивченими. Серед оцінок його наукових досягнень зустрічаються необґрунтовані твердження, немає ще книги, яка давала б цілісний і досить повний творчий портрет цієї винятково колоритної постаті в історії науки, техніки, культури і навіть політики.

Важливим кроком у заповненні такої прогалини буде, як ми сподіваємося, монографія "Іван Пулюй", яку підготували для публікації у видавництві Наукового Товариства ім. Т.Шевченка два львівські фізики — доктор фіз.-мат. наук професор Роман Ґайда та канд. фіз.-мат. наук Роман Пляцко. Пропонуємо увазі наших читачів короткі біографічні відомості про І.Пулюя та окремі уривки з зазначеної книги.

Народився Іван Пулюй в містечку Гримайлові на Тернопільщині 2 лютого 1845 р. У 1865 р. закінчив навчання в Тернопільській гімназії, у 1869 — на теологічному факультеті, а в 1872 — на фізичному відділі філософічного факультету Віденського університету. У 1877 р. здобув науковий ступінь доктора натуральної філософії Страсбурзького університету.

Впродовж 1877-1883 рр. працював асистентом фізичної лабораторії та приват-доцентом у Віденському університеті, але з 1882 р. починає займатися проблемами електротехніки. Восени 1884 р. його запрошують на посаду професора експериментальної і технічної фізики Німецької вищої технічної школи у Празі, де він засновує в 1902 р. кафедру електротехніки і керує нею до виходу на пенсію в 1916 р. На 1888/89 навчальний рік Пулюя обрали ректором політехніки. Помер Іван Пулюй 31 січня 1918 р. у Празі, де його і поховали.

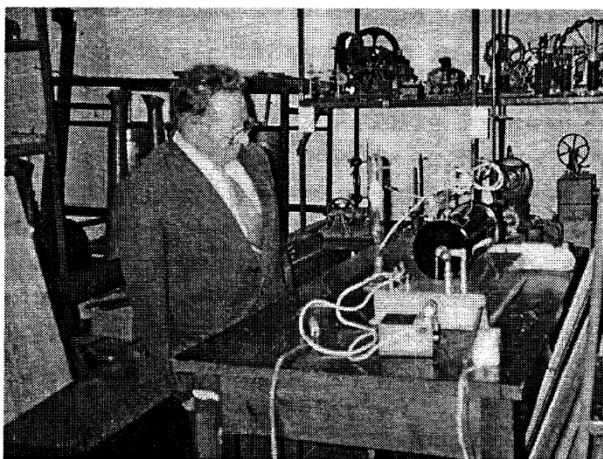
За видатні наукові, технічні, організаційні досягнення І.Пулюй отримав різні



нагороди, йому було присвоєно почесне звання радника цісарського двору. Стисло характеризує діяльність Івана Пулюя можна отримати з наведених нижче фрагментів вступу до монографії Р.Гайди і Р.Пляцка.

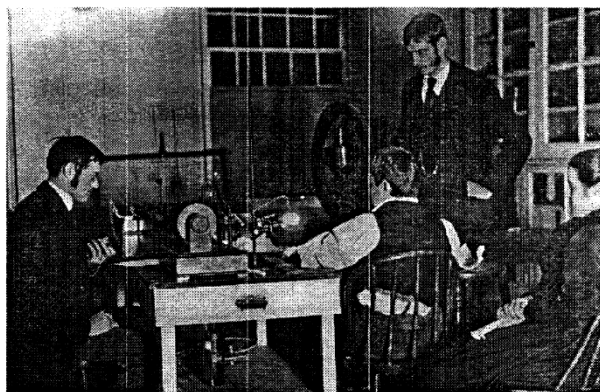
Важко знайти у новітній світовій історії науки, техніки і культури постать, яка могла б зрівнятись з Іваном Пулюєм багатогранністю своїх зацікавлень і, одночасно, найвищим рівнем досягнень у кожному напрямі діяльності. Якщо малювати його портрет широкими мазками, то він постане перед нами як фізик, електротехнік, письменник-перекладач і громадсько-політичний діяч...

Творча спадщина Пулюя вражає своїм розмаїттям у кожній із зазначених вище основних сфер. Пулюй як фізик — це віртуозний конструктор і експериментатор, вдумливий новатор у намаганнях пояснити спостережувані у дослідах явища на основі загальних законів природи, мікроскопічних уявлень про будову речовини та сформованих новітньою наукою методологічних принципів пізнання. Це також чудовий педагог, що не йде второваними шляхами, а завжди шукає власних. Він і блискучий популяризатор, що зумів поєднати у своїх лекціях, статтях і брошурах наукову строгість з прекрасним літературним стилем. Найважливіші досягнення Пулюя в галузі фізики стосуються катодних та X-променів.



Професор Р.Гайда спостерігає дію "лампи Пулюя" в Чеському технічному музеї (Прага, вересень 1995 р.)

Світовий рівень його фізичних досліджень засвідчують високі відзначення сконструйованих ним апаратів на всесвітніх (1878, 1881) та міжнародних виставках. Лондонське фізичне товариство опублікувало англійський переклад його монографії про катодні промені в одній із книг серії, присвяченої найвидатнішим досягненням тогочасної фізичної науки. Пулюєві праці торували шлях до епохальних відкриттів кінця ХІХ століття, а саме X-променів та електрона як складової частинки атомів усіх речовин.



Перший на американському континенті експеримент з отримання клінічної рентгенограми, виконаний за допомогою "лампи Пулюя" 3 лютого 1896 р. в Дартмутському коледжі

Ці відкриття, що заклали підвалини сучасної фізики і революціонізували все природознавство та технічний прогрес, були підсумком тривалих досліджень цілої плеяди видатних учених, серед яких одне з почесних імен належить нашому знаменитому землякові.

Великі заслуги Пулюя в дослідженні та практичному використанні самих X-променів, і це дає підстави вважати його співзасновником рентгенології у широкому сенсі цього поняття — як науки про невидимі X-промені, їхню природу і сфери застосування. Він домігся найвищої на той час якості X-променевої фотографії, опублікованих у європейській пресі. А виконана у США одним з пулюєвих електровакуумних апаратів рентгенограма вперше у світі зафіксувала перелом людської кінцівки.



Особливо слід наголосити, що Іван Пулюй не обмежувався тільки описом спостережуваних експериментально явищ. Він намагався проникнути в їх фізичну суть, зрозуміти глибинні закони природи, що визначають характер спостережуваних процесів. З цього погляду Пулюй стояв вище від багатьох своїх сучасників, зокрема, цілої школи видатних німецьких фізиків (у тому числі Рентгена), які не зуміли подолати бар'єр, що відділяв методологію класичної макроскопічної фізики від мікроскопічних підходів, притаманних науці ХХ століття. Вже у працях початку 80-х років, а потім у публікаціях 1896 р. Іван Пулюй першим з тогочасних фізиків сформулював ідеї щодо природи катодних та Х-променів. З погляду сьогодення ми бачимо, що вони дуже близькі до сучасного їх розуміння, базованого на електронній теорії будови речовини. Отже, самі лише заслуги перед фізикою ставлять його в один ряд з великими вченими минулого століття.

Іван Пулюй був також одним із піонерів у бурхливому розвитку електротехніки, а отже, і промислової революції на переломі ХІХ і ХХ століть. У своїй електротехнічній діяльності він займався, здавалося б, далекими одне від одного питаннями: конструювання лампочок розжарювання та технологія виготовлення ниток до них; організація фабрики для їх виробництва; проектування та будівництво електростанцій; винахідництво (сигнальний телефонний апарат, захищена від високовольтних струмів телефонна станція, електричний телетермометр, лампа для гірників та інші пристрої, запатентовані в різних країнах Європи); опрацювання нового навчального предмета — електротехніки у Німецькій вищій технічній школі в Празі (де його обирали й ректором); забезпечення цього курсу відповідною матеріально-технічною базою, будівництво нових корпусів у цьому навчальному закладі; організаційна праця як співзасновника Віденського електротехнічного товариства (почесним членом якого його обрано в 1913 р.) та засновника і

довголітнього президента такого ж товариства у Празі; проведення експертних робіт за дорученням керівних державних установ; активна участь у редагуванні технічних журналів; теоретичні праці, присвячені розрахункам електричних мереж змінного електричного струму з самоіндукцією...

Окремо треба сказати про напружену і плідну, упродовж усього життя, діяльність Івана Пулюя, спрямовану на національне відродження України. Тут і переклади на українську мову та видання релігійної літератури, гострі конфлікти на цій основі з тодішньою москвофільською течією у верхівці греко-католицької церкви, численні, але безрезультатні звертання до російських урядових чинників з вимогою дати дозвіл на розповсюдження цих видань у підмосковній Україні. Подібне прохання посилав до японського генерала Ногі, від якого одержав згоду на їх пересилання українцям, що опинилися в японському полоні під час російсько-японської війни. Довелося вченому вести також тривалу боротьбу (статті в газетах, депутації до міністерства, листування) за створення українського університету у Львові. Позитивне рішення про це австрійського уряду було врешті прийнято, але світова війна завадила його реалізації. Активна праця Пулюя як одного з дійсних членів Наукового Товариства ім.Т.Шевченка; далі — організація фонду для підтримки студентів-українців, які навчалися у Відні та Празі, допомога біженцям з Галичини під час війни, моральна підтримка Українських Січових Стрільців (виступи на зборах, статті в газетах). І ще брошури та статті німецькою мовою про політичне становище в Україні, її геополітичну роль на Європейському континенті, висловлена в цих публікаціях концепція побудови незалежної, увільненої з-під царського гніту Української держави, яка має стати ключем до миру і стабільності в Європі...

Про ту роль, яку відігравало в його житті служіння українській національній ідеї, можна судити з висловлювання самого Пулюя: "Електротехніка, тая найновіша і



величава наука, на котрої полі я чимало потрудився, близька і дорога мому серцю, але ще ближша і дорожша наша мова, наша література і доля народу нашого”.

А ось деякі висловлювання про українського вченого, які читач знайде у зазначеній книзі “Іван Пулюй”:

“У Німецькій політехніці, в Празі були різні славні люди. До них слід зарахувати насамперед тодішнього професора електротехніки Пулюя... Ніколи в житті я більше не зустрічав такої особистості як Пулюй” (Гергардт Ковалевський, німецький математик).

Австрійський професор В.Форман назвав нашого земляка однією з найцікавіших постатей науки ХІХ і початку ХХ століть і зазначив, що він “причинився до перетворення світу”.



Пам'ятник Іванові Пулюєві в Гримайлові на Тернопільщині. Скульптор — Микола Обезюк (Київ)

Максиміліян Нарберсгубер — автор документального роману про видатного австрійського промисловця Йозефа Верндля, назвав у цій книзі ім'я Пулюя

серед чотирьох “найвидатніших фахівців Європи” в галузі електротехніки, яких Верндль запросив у 1883 р. до співпраці в керованому ним підприємстві.

“Доля дозволила Тобі побачити ранішню зорю свободи, до якої піднявся з темних воєнних хмар Твій нарід, який Ти любив до останнього свого подиху, і її перші сонячні промені побажали озолотити кінець Твого сповненого працею життя” (Професор Бах, ректор німецької празької політехніки; надгробне слово).

Вісім розділів монографії Р.Гайди і Р.Пляцка міститимуть життєпис Івана Пулюя, аналіз його досліджень в галузі фізики, огляд його електротехнічної діяльності, науково-популярних праць, діяльності як дійсного члена Наукового Товариства ім.Т.Шевченка, його українських перекладів Біблії та інших церковних творів, публіцистики. Книга розповідає також про заходи на вшанування пам'яті цього великого Українця. Зацікавлених читачів просимо присилати в нашу редакцію попередні замовлення на книгу. Детальнішу інформацію про неї опублікуємо після її виходу у світ, в одному з наступних чисел нашого журналу.

На початку листопада 1996 р. на Батьківщині вченого, в селищі Гримайлів на Тернопільщині, перебував онук Івана Пулюя — професор Петро Пулюй, що проживає в Австрії. Для читачів нашого журналу він залишив привітання.

Дорогі читачі журналу “Світ фізики”!

3-го листопада 1996 р. я мав велику честь і задоволення брати участь в урочистому відкритті гімназії ім. Івана Пулюя в Гримайлові, на Батьківщині мого діда.

Бажаю усім українцям великих успіхів у вивченні сучасної фізики, а також щасливого майбутнього у мирі і свободі.

ВИДАТНИЙ УКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИК-ТЕОРЕТИК АНДРІЙ ЛУБЧЕНКО

(До 75-річчя ученого)

Наукова спадщина професора Андрія Федоровича Лубченка вже два десятиліття витримує іспит часу. Без сумніву, чимало його результатів увійде у золотий фонд фізики твердого тіла. До праць А.Лубченка ще довго звертатимуться як теоретики, так і фізики-експериментатори, бо в них — оригінальні ідеї, важливі концепції та результати. Об'єктом його досліджень були, в першу чергу, домішкові кристали і тверді розчини, які є базою твердотільної електроніки та оптоелектроніки. Нехай ці згадки будуть квіткою у вінок шанобливої пам'яті про незабутнього Андрія Федоровича.

А.Лубченко народився 27 жовтня 1921 р. на хуторі Ломаківському, тепер Миргородського району Полтавської області. Був учасником другої світової війни. Після демобілізації вступив до Львівського університету, який з відзнакою закінчив у 1951 році. Як одного з найздібніших випускників, його скеровують до аспірантури у Київ, до Інституту фізики АН України, де після трирічної праці він успішно захистив кандидатську дисертацію "Дослідження з теорії спектрів поглинання і люмінесценції розчинів та молекулярних кристалів". Після цього Андрій Федорович проводив теоретичні розрахунки форми смуг поглинання та люмінесценції розчинів та молекулярних кристалів при утворенні в них локалізованих збуджень та вільних екситонів (при сильній і слабкій електрон-фононній взаємодії), а також дисперсії світла в області екситонного поглинання. Нові результати одержано щодо фононних та вібронних спектрів молекулярних кристалів, знайдено формулу для визначення середнього радіаційного часу життя домішкового центра у збудженому стані, його залежності від моделі центра, природи кристалічної матриці та від температури.

А.Лубченко брав активну участь у наукових семінарах та конференціях, зокрема, в роботі 10-го з'їзду зі спектроскопії у Львові. Він був одним з фундаторів (у 1956 р.) "Українського фізичного журналу", виконував величезну

організаторську та редакторську роботу, подавав ґрунтовні статті майже до кожного номера журналу.

З 1959 р. А.Лубченко започаткував широкі теоретичні дослідження резонансного випромінювання, поглинання і розсіювання гама-



квантів ядрами ідеальних та неідеальних (в т.ч. домішкових) кристалів. Розв'язується задача щодо визначення спектра частот нормальних коливань ґратки за допомогою резонансного і релеєвського розсіювання гама-квантів, а також щодо факторів, які визначають форму мессбауерівської лінії тощо.

На початку 60-х років наукові обсяги робіт А.Лубченка розширюються. Окрім електронних і вібронних спектрів, він вивчав релеєвське та раманівське розсіювання світла домішковими центрами, поляризаційні особливості спектрів, дисперсію оптичної активності, спектри кругового дихроїзму, магнетооптичні явища в області резонансних частот, двозаломлення кристалів при дії зовнішніх полів. Вперше він детально дослідив температурний генезис т.зв. безфононних смуг в оптичних спектрах. Для різних задач успішно застосовуються метод моментів, метод шпурів, метод функцій Гріна.

У 1959 р. А.Лубченко разом з М.Бродиним опублікували концептуально важливу статтю про вплив температури на ефекти просторової дисперсії в кристалах. Тривали глибокі й різнобічні дослідження проблеми електрон-фононної взаємодії, впливу ангармонізму коливальних на оптичні спектри твердих тіл.

Саме А.Лубченко перший дійшов висновку про однакову фізичну сутність у температурній поведінці лінії Мессбауера гама-спектра і безфононної смуги оптичного спектра. У 1961 р. А.Лубченко та І.Дзюб строго довели, що чисто електронна А-смуга домішкового чи екситонного спектра є оптичним аналогом ефекту Мессбауера.

За результатами вказаних досліджень А.Лубченко у вересні 1963 р. блискуче захистив докторську дисертацію на тему "Дослідження з теорії фото-переходів у домішкових центрах і ядрах твердого тіла". Починаючи з 1964 р., А.Лубченко публікує свої статті у міжнародному журналі "Physica status solidi".

У січні 1966 р. в Києві заснували Інститут теоретичної фізики АН України, і А.Лубченко працював там завідувачем відділу від 1966 до 1971 року. За цей період основні наукові результати професора (з 1967 р.) А.Лубченка стосувалися таких проблем: теоретичне обґрунтування правила Урбаха; динаміка ґратки і ефекти ангармонізму; концентраційні ефекти у домішкових кристалах; оптичний аналог ефекту Мессбауера; закон дзеркальної симетрії у спектрах поглинання і люмінесценції домішкових центрів, вплив характеру електрон-фононної взаємодії; екситони та ефекти

просторової дисперсії. У 1970 р. він видає 1-й том монографії "Оптичні властивості домішкових центрів".

1971 р. А.Лубченко змушений був через свої патріотичні погляди та мужню громадянську позицію залишити Інститут теоретичної фізики і перейти працювати в Інститут ядерних досліджень. Продовжуючи попередні напрямки досліджень, проф. А.Лубченко започаткував нові: розрахунок енергії утворення вакансій та дислокацій; лазерна фотостимульована дифузія у напівпровідниках і діелектриках (теорія фотостимульованого легування матеріалів); розрахунок температурних залежностей концентрації дефектів різних типів (Френкеля, Шоткі, центрів забарвлення) у кристалах; механізм утворення радіаційних дефектів; когерентне та некогерентне розсіювання повільних нейтронів у твердих тілах тощо. У той період він виступав з доповідями у Львові: "Екситонні механізми дефектоутворення" на університетському науковому семінарі (1974 р.) та "Лазерна фотостимульована дифузія у напівпровідниках та діелектриках" на виїзній сесії Академії наук у Політехнічному інституті (1975 р.). Монографія "Квантові переходи у домішкових центрах твердих тіл" побачила світ у 1978 р., коли автора вже не було...

Помер Андрій Федорович Лубченко в Києві 26 листопада 1977 р. Йому не виповнилося й шістдесяти, він мав великі наукові плани, плекав наукову школу, залишив незавершені роботи.

Можна відповідально сказати, що час експериментальної апробації результатів досліджень Андрія Лубченка ще попереду.

*Доктор фіз.-мат. наук,
професор Львівського університету
Ярослав Довгий*



У ГЛИБИНИ АТОМА

До 125-річчя з дня народження Ернста Резерфорда.

*“Він збудував собі пам’ятник
недосяжний, неподвладний часові”
Горацій*

“Вміння задавати природі прості незаплутані запитання... Здатність йти до самого серця проблеми...” Це сказано про зрілого Резерфорда. Але і раннім дослідженням молодого новозеландця притаманні ті ж риси. Його перші кроки в науці справді змушують згадувати великі ріки, що виливаються з глибоких озер, як з переповненого келиха, і яким невідома пора струмкового дитинства. Резерфорд тоді вчився на другому курсі. На першому засіданні наукового студентського товариства він виступив з доповіддю “Еволюція елементів”. Резерфорд-другокурсник висловив думку, що всі атоми є складні утвори, до яких входять одні і ті ж самі елементарні частинки. Така гіпотеза могла здатися чистісінькою фантазією, бо ж ніколи вчені не говорили настільки впевнено про неподільність атома, ніж наприкінці минулого століття. Ще до сьогодні не з’ясовано, з яких літературних джерел черпав Резерфорд науковий матеріал для своєї теми, адже в 1892 році залишилось ще цілих чотири роки до відкриття радіоактивності і майже два десятиліття до відкриття атомного ядра. Та хіба не дивно, що перший досвід його наукових роздумів називався “Еволюція елементів”, а останній — передсмертна “Сучасна алхімія”? І якщо ви хочете надати цьому несподіваному збігові символічний зміст, навряд чи це буде помилкою. Тут у випадковому відлунні назв проявилась вся спрямованість його безконечно плідного життя в науці, яке розпочалося тоді — на другому курсі новозеландського університету.

Отже, доповідь Резерфорда була сприйнята так само, як і реферат “Четвертий вимір” молодого Уелса: фізика тих днів давала ще менше підстав для роздумів про еволюцію елементів, ніж для спекуляцій про четвертий вимір. Але цілком реальними були деякі дослідження електромагнітних хвиль, виконані Резерфордом у коледжі. Майбутній учений серією дослідів довів, що електромагнітні хвилі під час збудження їх змінним струмом високої частоти викликають швидке розмагнічування сталевого дроту. Потім він почав розробляти методи виявлення електромагнітних хвиль за допомогою в’язки намагнічених до насичення голочок. Внаслідок збудження електромагнітними хвилями струмів високої частоти голки розмагнічувались.

Ланцюг його університетських успіхів продовжував збільшуватись — ланка за ланкою. Четвертий курс приніс йому чергове наукове звання — магістр мистецтв. Але найсуттєвішою була його перемога на магістерських екзаменах. Це була подвійна перемога. Він втримав свою першість з математики, і водночас до нього перейшла загальноуніверситетська першість з фізики. Це була його перша маленька слава. Він ставав надією Нової Зеландії.

Після закінчення університету Резерфордові присудили “Стипендію 1851 року”. Її надавали найталановитішим випускникам провінційних університетів. Значна сума стипендії давала змогу протягом двох-трьох років стажуватися в одному або декількох відомих університетах Англії. Право вибору уні-



верситету надавалось стипендіатіві.

Звістку про присудження “Стипендії 1851 року” принесла Резерфордові мати, яка застала його на городі, де Ернст копав картоплю. Резерфорд радісно засміявся, кинув лопату і вигукнув: “Це остання картопля, яку я копаю!” Чи справді він це сказав, перевірити важко, але саме ця проста фраза увійшла в усі біографії Резерфорда, написані після його смерті.

Для стажування Резерфорд вибрав Кембриджський університет, де працював знаменитий фізик Джозеф Томсон. Уперше він покидав острів свого дитинства і юності, дорогу серцю Нової Зеландії, батьків, шестеро братів та п’ятеро сестер і наречену — Мері Ньютон — студентку Кентерберійського університету. Їй судилося стати його дружиною.

У цьому сприятливому для Резерфорда повороті долі була особлива закономірність. Вчені створювали нову фізику — фізику мікросвіту, фізику наступаючого століття. Це була галузь науки, яка



бурхливо розвивалась і разом з тим виховувала перших “некласичних” фізиків нового типу. І фізикам-експериментаторам ХХ століття заявляло про себе раніше, ніж закінчилось за календарем ХІХ. Але це стало очевидним лише з роками, коли поступово визначились незліченні наслідки трьох чудових відкриттів, зроблених у трьох різних лабораторіях Європи наприкінці минулого століття. Роки: 1895, 1896, 1897. Рентгенівські промені, радіоактивність, електрон...

Молодий дослідник спустився по трапу на англійський берег і не знав, що в ці хвилини за тисячі кілометрів від Лондона український фізик Іван Пулюй та німецький Вільгельм Рентген готують дріжджі, на яких зросте геній цього новозеландця. Наукова діяльність Резерфорда в Кавендишевській лабораторії під керівництвом Дж.Дж.Томсона розпочалась з дослідження процесів іонізації в газах.

У хіміків є термін — *in statu nascendi*. Це означає: “в момент виділення”. Руйнується фортеця молекули. Звільняється атом. Ось у цей перший момент своєї свободи він найлегше вступає в потрібну нам реакцію. Часто-густо це єдиний спосіб отримати необхідну сполуку. “Доля дарувала мені добрих батьків, добрих вчителів, добрих колег, добрих учнів, добрих друзів, великі можливості, незмінну удачу і відмінне здоров’я”. Так сказав про себе Дж.Дж.Томсон. І все це міг сказати про себе Ернст Резерфорд. Везіння сприяло йому з дитинства: він народився дуже вчасно. Однак, така вже загальна особливість геніїв — вони вміють народжуватись тоді, коли треба. Це тому, що коли з’являються вони на світ передчасно або запізно, історія не надає їм можливостей, і вони відходять, не встигаючи або не зумівши показати нам, що були геніями.

Резерфорд усе встиг і все зумів. Він народився так вчасно, що його зрілість як за хронометром збіглась з виникненням фізики мікросвіту.

Він застав атомну фізику *in statu nascendi*!

Не треба думати, що він усвідомлював, яка глибока революція зріє у фізиці. Та й хто в цей час чітко усвідомлював це?! Десятки років уже цитували безтурботні слова старого лорда Кельвіна про чисте небо над головою фізиків і його пророцтво про те, що горизонти захмарюють лише дві хмарини: загадковість досліду Майкельсона і проблема єдиного закону теплового випромінювання. З роками перша дала очищувальну грозу теорії відносності, а друга переросла у бурю теорії квантів. Про третю хмарку — нерозшифрованість атома — не було й мови. Лорд Кельвін цього й не помітив, бо хмарка лише збиралась.

У 1897 р. Томсон триумфально завершив свої дослідження відкриттям електрона. Це дало змогу йому зробити припущення, що атом є мініатюрна сфера діаметром 10^{-8} см, в якій рівномірно розподілений позитивний заряд і вкраплені електрони. Сфера в цілому електронейтральна. Томсон запропонував першу електронну модель атома. Потім на зміну прийде ядерна модель атома Резерфорда. А ще пізніше виявляють, що структура, запропонована Томсоном, у деяких випадках простежується у ядерних частинках. Але тоді ще не йшлося про атомне ядро.

Сьогодні ми дивуємося тій послідовності, з якою на початку століття одне відкриття в галузі електрики і структури речовини ніби чіплялось за інше. Події величезної важливості чергувалися підряд, ніби боялися втратити зв’язок між собою.

Промені Рентгена, відкриття радіоактивності урану Анрі Беккерелем, яке викликало небувалий інтерес до елемента, що вважався малоцінною речовиною, спонукали до великої серії досліджень у Кавендишевській лабораторії. Вони засвідчили, що зв’язку між двома випромінюваннями, незважаючи на їхню однакову іонізаційну здатність, немає. Резерфорд експериментально

підтвердив гіпотезу Беккереля про те, що подібність випромінювання урану і світлових променів є помилковою. Випромінювання урану не підлягало законам світлової оптики: не відбивалось, не заломлювалось і не поляризувалось. Під час досліджень учений вперше виявив α -частинку — першу ластівку з глибоких надр речовини, які ревно охороняла природа. Це було грандіозною подією в науці. За три роки стажування Резерфорда в Кавендишевській лабораторії він виконав такі роботи, які принесли молодому вченому популярність у наукових колах Європи й Америки. Найважливіші з них, звичайно, дослідження радіоактивності урану і торію. Саме вони визначили його майбутнє поле діяльності і допомогли надалі пояснити процеси, що відбуваються в атомі й атомному ядрі.

Незабаром Резерфорд отримав запрошення обійняти посаду професора фізики Мак-Гілльського університету в Монреалі. Рекомендував його Дж. Дж.Томпсон. “У мене ніколи не було молодого вченого з таким ентузіазмом і здібностями до оригінальних досліджень, як пан Резерфорд, і я впевнений, що він створить видатну школу фізиків у Монреалі... Я вважаю щасливим той заклад, який закріпить за собою Резерфорда професором фізики”.

Цю високу оцінку наукової діяльності Резерфорд отримав у 26 років. Але, втім, була тут і своя закономірність. Життя засвідчує (і особливо в цьому переконає ХХ століття), що вчені, які присвятили себе фізиці, математиці та іншим точним і природничим наукам, найбільш творчо активні саме в молоді роки.

У житті Резерфорда розпочався новий період, що характеризувався працями в новій галузі фізики. Перш за все сюди треба віднести запропоновану разом з англійським хіміком Фредеріком Содді теорію радіоактивного розпаду. Резерфорд також вивчав природу α -частинок. Він намагався експери-



ментально отримати відповідь на запитання: з чого складаються α -частинки і які їхні фізичні характеристики.

Поринувши в безконечні дослідження, Резерфорд найменше думав про свій престиж. Але його роботи робили молодого фізика популярним серед учених різних країн. Його обрали членом Канадського Королівського товариства, Американського фізичного товариства, Британської асоціації сприяння прогресивним наукам, а 1903 р. членом Лондонського Королівського товариства.

За вісім років, проведених у Канаді, Резерфорд опублікував 50 наукових статей, кожна з яких була надзвичайно цінною для нової, сформованої Резерфордом галузі науки — теорії радіоактивного розпаду. Тепер ці праці є цілими розділами підручників з фізики і хімії. Наміри Резерфорда повернутись в Англію здійснились у 1907 р. Він назавжди покинув Монреаль, залишивши тут своїх учнів-послідовників.

А у 1908 р. за видатні роботи монреальського періоду Резерфордові була присуджена Нобелівська премія з хімії. На банкеті в королівському палаці він жартівливо заявив: "Я мав справу з численними перетвореннями, які я вивчав в різні роки, але найдивовижнішим було те, що я в одну мить перетворився з фізика в хіміка". Вчені все ще не могли вирішити, до якої науки належить радіоактивність. Пізніше, після відкриття ядерної моделі атома та

протонно-нейтронної будови ядра, наука ця отримала поширення в багатьох країнах світу як ядерна фізика.

Відкриття Резерфордом ядра атома розпочалося з буденних робіт у Манчестерській лабораторії, а саме: з підрахунку α -частинок, які вдаряються об люмінесцентний екран. Ці експерименти сьогодні описані в кожному шкільному підручнику фізики, а їхня ідея — проста, чітка і красива (Резерфордівська!), зрозуміла навіть дванадцятирічним. Але тоді це було грандіозне відкриття фізики ХХ століття — планетарна модель атома. У 1920 р., міркуючи над моделлю ядра, Резерфорд висунув гіпотезу про існування незарядженої частинки — нейтрона, розрахував її властивості. Лише через 12 років її експериментально відкрив учень Резерфорда Джеймс Чедвік.

Перша світова війна безжалісно зробила свої корективи у наукових і життєвих планах Резерфорда. У 1915 р. у віці 28 років загинув один з найталановитіших учнів Резерфорда Генрі Мозлі, Чедвік опинився у німецькому концтаборі, Марсден воював у Франції. Сам Резерфорд займався розробкою акустичних методів боротьби з німецькими підводними човнами, намагаючись знайти трохи часу для своїх наукових досліджень. У 1917 р. він започаткував експерименти з розщеплення ядер та штучного перетворення елементів. У 1919 р. Резерфордом була здійснена перша штучна ядерна реакція. В цьому ж році він займає пост

керівника Кавендишевської лабораторії. Цю посаду він обіймав до кінця життя.

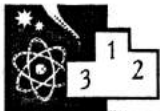
З 1925 до 1930 р. Резерфорд був президентом Лондонського Королівського товариства, у 1931 р. отримав титул барона і став лордом. У науковому світі не було, мабуть, таких нагород, яких не мав би видатний експериментатор.

Розповідь про Резерфорда хочемо закінчити оцінкою його як учителя. Учні оточували Резерфорда впродовж усього його життя. Професор Кембріджського університету, директор знаменитої Кавендишевської лабораторії, він випромінював доброзичливість і мав величезний авторитет, що ґрунтувалися на високому інтелекті. Його вплив був так само незаперечним, як вплив Сонця на планети. Професор Резерфорд у Кавендишевській лабораторії був джерелом світла, теплоти і життя.

Смерть Резерфорда у 1937 р. стала величезною втратою для науки, для учнів і друзів. У Вестмінгстерському абатстві в одному з нефів собору, названому "Куточком науки", поруч з могилами І.Ньютона, М.Фарадея, Ч.Дарвіна, В.Гершеля, встановлено його саркофаг. Простий монумент видатному Резерфордові. Але величним пам'ятником йому стала атомна і ядерна фізика, родоначальником якої він став, уперше заглянувши у глибини атома.

Дарія Біда,

Львівський фізико-математичний ліцей



Шановні друзі! Вашій увазі пропонуємо умови завдань XXXIII Всеукраїнської олімпіади юних фізиків. Олімпіада відбувалася у чотири етапи (школа, район, область, країна). Ми пропонуємо вам деякі завдання третього і четвертого етапів олімпіади. Сподіваємось, що ці матеріали будуть корисні для тих, хто цікавиться фізикою.

Цього року четвертий тур олімпіади відбувся під час весняних канікул у м. Кіровограді. Команда Львівської області у складі 12 чоловік виступила досить вдало:

8 клас:

Дума Любомир — диплом II ступеня (Львівська академічна гімназія, вчитель — З.О.Когут)

9 клас:

Дячук Василь — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — В.І.Алексеичук)

Мочалов Сергій — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — І.М.Теличин)

Захар'яш Галина — диплом учасника (СШ № 91 м.Львова, вчитель — Г.Ф.Чирка)

10 клас:

Морус Максим — диплом II ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — Д.Д.Біда)

Лозинський Богдан — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — Д.Д.Біда)

Гера Орест — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — Д.Д.Біда)

Луцишин Ярослав — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — І.М.Теличин)

11 клас:

Волков Олег — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — В.І.Алексеичук)

Козаков Дмитро — диплом III ступеня (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — В.І.Алексеичук)

Невідомський Андрій — диплом учасника (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — Р.Г.Кузик)

Стаканов Максим — диплом учасника (Львівський фізико-математичний ліцей, вчитель — Я.А.Пастирський)

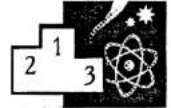
Теоретичні завдання IV туру XXXIII Всеукраїнської олімпіади юних фізиків

8 клас

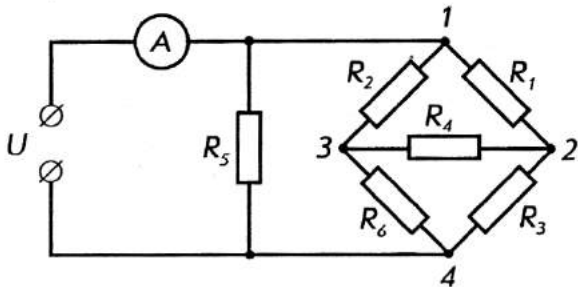
1. У жаркий літній день склянку води охолоджують, кладучи до неї маленькі шматочки льоду: як тільки розтане один, тут же кладуть інший, а зайва вода переливається через край і витікає зі склянки. Шматочок льоду масою 5 г тане за 5 хв. За який час вода в склянці нагріється на 1° , якщо забудуть покласти черговий шматочок льоду? Маса води в склянці 200 г, склянка легенька. Питома теплота плавлення льоду 330 кДж/кг, питома теплоємність води 4200 Дж/кг град.

2. Спостерігач, що стоїть на Землі, бачить, як нечутно наближається до нього літак. Він летить прямолінійно і горизонтально. Літак минає спостерігача і віддаляється від нього. Спостерігач починає чути звук літака в момент, коли напрям, у якому видно літак, утворює кут α з горизонтом. Пояснити це явище та визначити швидкість літака у випадку, коли $\alpha = 30^\circ$. Швидкість звуку дорівнює 340 м/с.

3. Ізольований телеграфний провід (опір на одиницю довжини сталій), поміщений у заземлений металевий екран, з'єднує два пункти А і В, відстань між якими l . Провід пошкоджено в невідомому пункті С, внаслідок чого відбувається коротке замикання проводу з екраном. Як знайти місце пошкодження С, маючи в розпорядженні акумуляторну батарею і міліамперметр? Опір оболонки (екрана) на одиницю довжини сталій.



4. До мережі з напругою $U = 12$ В підімкнули

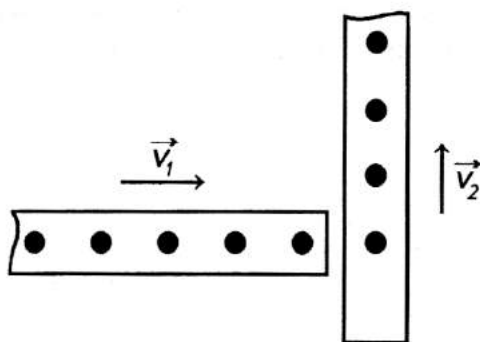


електричне коло (див. рис.). Яку силу струму показує амперметр, якщо $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, $R_4 = 4$ Ом, $R_5 = 5$ Ом і $R_6 = 6$ Ом?

9 клас

1. Космічний корабель опустився на астероїд діаметром 1 км і середньою густиною $2,5 \cdot 10^3$ кг/м³. Космонавти вирішили об'їхати астероїд по екватору на всюдиході за 2 год. Чи можуть вони це зробити?

2. На виробництві деталі переміщуються на транспортерах (див. рис.). Нехтуючи розмірами деталей і вважаючи, що перехід на транспортер II відбувається без удару, розглянути таку ситуацію. Спочатку обидва транспортери рухаються зі швидкістю V_0 , причому виїхавши на транспортер II, деталі зупиняються точно на його середині. З якихось причин треба було збільшити швидкість транспортера II утричі. Що станеться, якщо молодий недосвідчений інженер збільшить швидкість стрічки II, не змінивши швидкості стрічки I?



3. Як визначити опір резистора R_x , якщо є резистор з відомим опором R , з'єднувальні провідники, амперметр і джерело струму зі сталою напругою. Опори амперметра і з'єднувальних провідників вважати мізерно малими.

4. Корабель та катер берегової охорони пливають рівномірно й прямолінійно з різними швидкостями. На катері за допомогою локатора через однакові інтервали часу визначають відстані a , b і c до корабля. Знайти значення

четвертої d та п'ятої f відстаней, які мають одержати локаторщики через такі ж інтервали часу. При якому співвідношенні значень a , b та c можна стверджувати, що корабель і катер зустрінуться? Обчислити d та f , якщо $a = 5,2$ км, $b = 4,8$ км і $c = 5,4$ км.

5. Дві однакові пружні шайби масою M кожна рухаються в один бік по гладенькому горизонтальному столу з однаковими швидкостями V вздовж лінії, яка з'єднує центри шайб. Відстань між шайбами дорівнює L . Передня шайба налітає на невелике тіло масою m , яке прилипає до шайби. Через який час після цього шайби зіткнуться між собою? Які швидкості матимуть шайби після абсолютно пружного центрального співудару?

10 клас

1. Ідеальний газ міститься в еластичній теплоізолюючій оболонці під тиском p_1 і при температурі T_1 . Визначити температуру газу, яка буде після того, коли зовнішній тиск на газ стрибкоподібно зміниться до значення p_2 . Порівняти зміну температури в цьому процесі зі зміною її, що була б, якби адиабатичний процес відбувався дуже повільно.

2. Точковий заряд $+q_0$ гармонічно коливається відносно центра заземленої металеві сферичної оболонки, що має радіус R . Амплітуда коливань $2R$, циклічна частота ω . Обчислити значення і напрям струму через провідник, що з'єднує оболонку з землею, як функцію часу. Вважати, що точковий заряд може вільно проходити крізь оболонку.

3. На горизонтальну стрічку транспортера, що рухається рівномірно зі швидкістю $V = 5$ м/с, з малої висоти впав шматок крейди, плоска поверхня якої залишила лінію довжиною $S = 5$ м. Через деякий час транспортер вимкнули, однак стрічка ще сповільнено рухалась до зупинки з прискоренням $a = -5$ м/с². Чи накреслила крейда знову лінію? Якщо так, то яка її довжина? Чи можна розрахувати, яким повинно бути прискорення стрічки, щоб крейда не накреслила лінію?

4. У лінійному прискорювачі елементарних частинок протони прискорюються до швидкості $V = 0,01c$, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - швидкість світла, у практично однорідному електричному полі всередині тонкої прямої вакуумної трубки довжиною $L = 2$ м і радіусом $R = 0,6$ м. Побічні магнітні поля викривляють траєкторію протонів, унаслідок чого останні можуть потрапити на стінку, не дійшовши до кінця трубки. Чи не



порушить роботу такого прискорювача магнітне поле Землі, індукція якого $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл спрямована перпендикулярно до напруженості прискорювального електричного поля? Вважати, що протони починають рухатися, перебуваючи на осі трубки. Для протона відношення заряду до маси дорівнює $e/m = 0,96 \cdot 10^8$ Кл/кг.

5. Швидкість звуку в газі можна обчислити за формулою, в якій є лише тиск газу p , густина газу ρ і якась безрозмірна стала. На підставі цієї інформації визначити співвідношення швидкостей поширення звуку в одному й тому ж розрідженому газі в двох різних станах, які характеризуються значеннями тиску і густини p_1, p_2 і ρ_1, ρ_2 відповідно.

11 клас

1. Невеликий циліндричний магніт падає в полі сили тяжіння вздовж осі тонкостінної циліндричної металеві труби нескінченної довжини. Вісь магніту паралельна до осі трубки. Визначити швидкість магніту в довільний момент часу t , якщо його початкова швидкість була нульовою. Проаналізувати отриманий результат. Товщина стінок труби h , її середній радіус r , питомий опір матеріалу труби ρ .

2. Ідеальний газ міститься в еластичній теплоізолюючій оболонці під тиском p_1 і при температурі T_1 . Визначити температуру газу, що встановиться після того, як зовнішній тиск на газ стрибкоподібно зміниться до значення p_2 . Порівняти зміну температури в цьому процесі зі зміною її, що була б, якби адиабатичний процес відбувся дуже повільно.

3. Фотони високих енергій можна отримати під час розсіювання видимого світла на ультррелятивістських електронах (енергія електрона $E \gg mc^2$, де m — маса спокою) в прискорювачах. Як джерело світла в цьому випадку використовують лазер. У 1970 р. на Стенфордському (США) прискорювачі за допомогою такого методу були отримані фотони з енергією 5 ГеВ. Розгляньте зустрічне зіткнення фотона з енергією E_ϕ з електроном, що має енергію E і імпульс P . Отримайте вираз для енергії фотона, розсіяного назад, тобто в напрямку імпульсу електрона: а) нехтуючи віддачею електронів (зміною їхньої енергії під час зіткнення), б) враховуючи віддачу електронів. Оцінити значення енергії розсіяного фотона, якщо $E_\phi = 3$ еВ і $E = 10$ ГеВ, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, 1 еВ $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

4. У борівській моделі атома водню електрон обертається навколо ядра по коловій орбіті. Відшукайте зв'язок між орбітальними магнітним μ і механічним L моментами електрона.

Зважайте, що коловий струм силою I , який охоплює площу S , створює магнітний момент з величиною $I \cdot S$.

5. У "чорному ящику" (рис. 1) є електричне коло, яке містить джерела постійного струму, резистори та ідеальні діоди. На рис. 2 показано графік залежності показів амперметра від напруги між точками А і В. Запропонуйте можливу електричну схему "чорного ящика" і визначте значення параметрів елементів, що є на схемі.

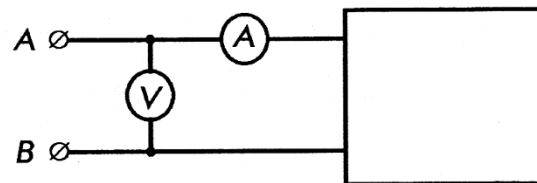


Рис. 1.

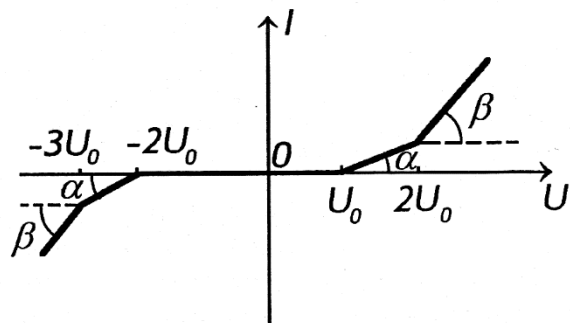


Рис. 2.

**Теоретичні завдання III туру
обласної ХХХVI олімпіади з фізики
1996 року школярів Львівщини**

9 клас

1. Людина, маса якої m , тримає в руках вантаж масою m_1 і стрибає під кутом α до горизонту зі швидкістю v . Досягнувши найвищої точки стрибка, вона кидає вантаж горизонтально в зворотному напрямку з швидкістю v_1 відносно Землі. Визначити довжину стрибка.

2. Маємо у відповідному об'ємі V дві речовини з густинами ρ_1 і ρ_2 . Маса всієї суміші дорівнює m . Визначити процентне співвідношення речовини у суміші.

3. Дві кульки з масами m_1 та m_2 з'єднані нерозтяжним невагомим стержнем. У початковий момент біля поверхні Землі кулькам надають швидкості v_1 і v_2 під кутами α і β до горизонту (рис. 1). Яке співвідношення в цей момент між кутами? На яку максимальну висоту підніметься центр мас системи?

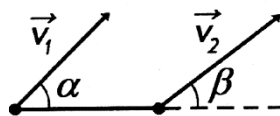


Рис. 1.

4. У “чорному ящику”, зображеному на рис. 2, змонтовано електричну схему, що складається з трьох опорів. Намалювати можливі варіанти схеми і розрахувати значення опорів, якщо відомо: $R_{12}=1,5$ Ом; $R_{23}=5/6$ Ом; $R_{13}=4/3$ Ом.

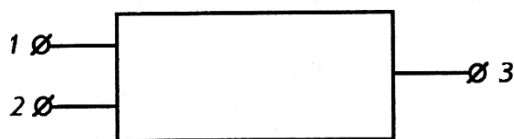


Рис. 2.

5. Хлопчик масою m з'їжджає на санках по гвинтовій циліндричній гірці, радіус витка якої R , а віддаль між сусідніми витками H . Визначити силу тиску на гірку після проходження n витків. Тертя і масою санок знехтувати.

10 клас

1. Вагон під дією поштовху, який надає йому тепловоз, рухався вгору по схилу протягом 30 с до зупинки і пройшов шлях 64 м. Після цього вагон почав спускатися вниз по схилу і той же шлях пройшов за 40 с. Користуючись цими даними, визначити коефіцієнт тертя k (кут нахилу схилу та k вважати сталими).

2. Визначити центр ваги системи вантажів $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{10}$ ($P_1 = 1$ Н, $P_2 = 2$ Н, $P_3 = 3$ Н, ..., $P_{10} = 10$ Н), розміщених уздовж горизонтального стержня на однакових відстанях d один від одного. Вагою самого стержня знехтувати.

3. Ідеальний газ міститься при температурі $t_1 = 27$ °С. Знайти температуру t_2 цього газу, якщо в результаті розширення, що відбувається за законом $PV^{3/2} = \text{const}$, об'єм газу збільшиться в 4 рази.

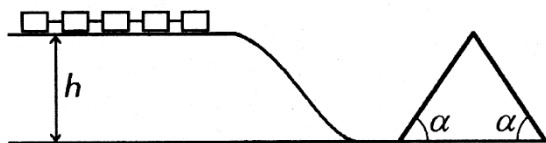
4. Повітряна куля має сталий об'єм $V = 1,1$ м³. Маса оболонки кулі - $m_0 = 0,187$ кг. Куля повинна стартувати при температурі навколишнього середовища $t_1 = 20$ °С і нормальному атмосферному тиску $p_0 = 1,013 \cdot 10^5$ Па. Густина повітря за цих умов $\rho = 1,2$ кг/м³. Розрахувати мінімальну температуру t_2 , до якої слід нагріти повітря всередині кулі, щоб вона почала підніматися.

5. При тривалому протіканні струму $I_1 = 1,4$ А через дрітину остання нагрілась до $t_1 = 55$ °С, а при струмі $I_2 = 2,8$ А — до $t_2 = 160$ °С. Зміною опору дротини з температурою знехтувати. Температура навколишнього середовища стала.

Тепловіддача пропорційна до різниці температур дротини та повітря. До якої температури нагріється дротина, якщо струм $I_3 = 5,6$ А?

11 клас

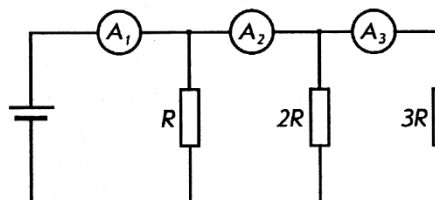
1. Поїзд без тепловоза масою m , довжиною l з'їжджає з гірки висотою $h > l/4$, як показано на рисунку. Початкова швидкість поїзда дорівнює нулю. Якої найбільшої висоти гірку він зможе подолати за інерцією, якщо гірка має форму рівнобедреного трикутника з кутом α в основі?



2. Куля масою m горизонтально вдаряється у брусок масою M , що лежить на горизонтальній гладкій поверхні. Швидкість кулі в момент удару v . Яка максимальна кількість тепла може виділитися в місці зіткнення?

3. Куб з ребром довжиною l рухається зі швидкістю v ($v \ll (3kT/m)^{1/2}$) в ідеальному газі частинок масою m у напрямку, перпендикулярному до однієї з його граней. Температура газу T , тиск P . Обчисліть силу опору, з якою газ діє на куб.

4. Усі амперметри у схемі однакові (див. рис.). Покази першого амперметра $I_1 = 10$ мА, третього $I_3 = 1$ мА. Що покаже другий амперметр?

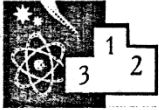


5. Чому нитка розжарення лампи виглядає червоною, якщо розглядати її через матове скло?

Теоретичні завдання обласної олімпіади з фізики 1995-1996 н.р. школярів Харківщини

8 клас

1. З Харківського аеропорту одночасно вилетіли у протилежних напрямках два літаки. Один з них весь час летів на північний захід, а другий — на південний схід. Обидва літаки летіли на висоті 10 км зі швидкістю 1000 км/год. Через скільки годин зустрілись літаки? Запас пального у літаків достатній. Радіус Землі приблизно 6400 км.



2. Дано заповнену водою посудину прямокутної форми, в якій плаває деяке тіло довільної форми. Як за допомогою однієї лінійки визначити масу цього тіла? Чи можна за допомогою однієї лінійки визначити в нашій задачі масу витісненої води?

3. На плиті стоїть посудина з киплячою водою, маса якої m_1 . У цю посудину опустили тонкостінну посудину менших розмірів з водою при температурі кипіння. Маса меншої посудини M , а вода, налита в неї, має масу m_2 . Перерізи більшої і меншої посудин відповідно S_1 і S_2 . З одиниці вільної поверхні киплячої води за 1 с випаровується вода масою m_0 . Оцініть час, за який випаровується вода з обох посудин, якщо вони достатньо високі і їхніми теплоємностями можна знехтувати.

4. Два школярі на велосипедах одночасно виїхали з пункту А і приїхали в школу у пункт В точно до початку першого уроку. Перший школяр першу чверть шляху їхав зі швидкістю v , а кожен наступну чверть шляху він свою швидкість подвоював. Другий школяр, проїхавши половину шляху, повернувся назад за підручником, який знайшов швидко. Чому дорівнює швидкість руху другого школяра, якщо вона весь час була сталою?

5. У калориметр, теплоємністю якого можна знехтувати, налили гас при температурі t_0 . Кусок льоду з температурою $t = 0^\circ\text{C}$, всередині якого є кусок пробкового дерева, підвісили до динамометра за допомогою невагомої нитки й опустили в гас. Спочатку покази динамометра були відмінні від нуля, а потім дорівнювали нулю і далі не змінювались. Причому кусок льоду був весь час повністю занурений у гас. Визначте масу гасу і кінцеву масу льоду, якщо початкова маса льоду m_1 , і маса пробкового дерева M . Повітряних порожнин всередині льоду не було. Вважайте, що вода з гасом не змішується.

9 клас

1. Муха може повзати по прямокутній дошці розміром 30×40 см. У момент часу $t = 0$ муха починає рухатись з одного кутка дошки прямолінійно і рівноприскорено з прискоренням 1 см/с^2 . Напрямок руху мухи виявився таким, що муха пройшла через точку, для якої сума квадратів відстаней від неї до кутів дошки найменша. В який момент часу це сталося?

2. Жуки утворюють правильний N -кутник зі стороною a . Вони починають рухатись так, що вектор швидкості 1-го жука весь час спрямований на 2-го жука, вектор швидкості 2-го жука весь час спрямований на 3-го жука і т.д. Визначити шлях, що пройде кожен з жуків

до моменту зустрічі. Модуль вектора швидкості кожного жука був весь час однаковий.

3. У калориметр малої теплоємності налили воду, маса якої M . У воду опустили шматок льоду, всередині якого був кусок свинцю. Спочатку лід у воду занурився частково, але потім повністю, залишаючись надалі біля поверхні води. Початкова температура льоду дорівнює 0°C . Кінцева і початкова маси льоду m_2 і m_1 . Визначте початкову температуру води і масу свинцю; порожнин всередині льоду не було.

4. Оцініть період обертання Місяця навколо своєї осі, якщо він рухається навколо Землі зі швидкістю $v \approx 1,02 \text{ км/с}$. Вважати орбіту Місяця приблизно коловою з радіусом $R \approx 384000 \text{ км}$.

5. У вас є скільки завгодно електричних дротів, електричних патронів, однакових електричних лампочок з вольфрамовою ниткою розжарення (наприклад, потужністю 100 Вт). Чи зможете Ви в домашніх умовах за допомогою тільки побутових приладів перевірити, чи залежить електричний опір вольфраму від температури?

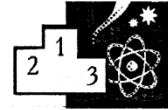
10 клас

1. На бруску, що є на горизонтальній площині, встановлений підвіс з вантажем m на нитці. Вантаж відхилили на кут $\pi/2$ і відпустили. Визначити масу бруска M , якщо він зрушився, коли кут між ниткою і вертикаллю дорівнював α . Коефіцієнт тертя μ .

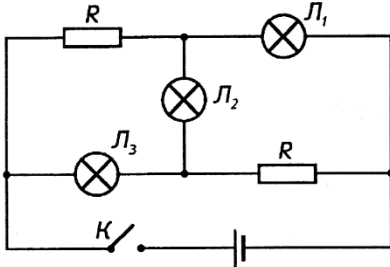
2. Важкий поршень масою M може вільно переміщатись усередині теплоізованого вертикального циліндра перерізом S , верхній кінець якого закритий, а нижній — відкритий в атмосферу. Всередині циліндра є горизонтальна перегородка з малим отвором, яка відсікає від атмосфери 1 моль повітря, що займає об'єм V з тиском P_0 . Поршень, який спочатку притиснутий знизу до перегородки, відпускають. Вважаючи, що молярна теплоємність газу при $V = \text{const}$ дорівнює C , визначити, на скільки опуститься поршень.

3. На гладкому столі лежать вантаж і пружина, що торкається його одним кінцем. Другий кінець А починають рухати в бік вантажу зі сталою швидкістю v . У момент максимального стиснення пружини кінець А зупиняють. З якою швидкістю буде рухатись вантаж після того, як відлетить від пружини? Масою пружини знехтувати.

4. Куля пробиває закріплену дошку при мінімальній швидкості v_0 . З якою швидкістю повинна летіти куля для того, щоб пробити незакріплену дошку? Маса дошки M , маса кулі m . Куля попадає в центр дошки.



5. У випадку замикання ключа k в колі, схема якого зображена на рисунку, спочатку запалюється лампочка L_2 , а потім лампочки L_1 і L_3 . При цьому лампочка L_2 гасне. Пояснити це.



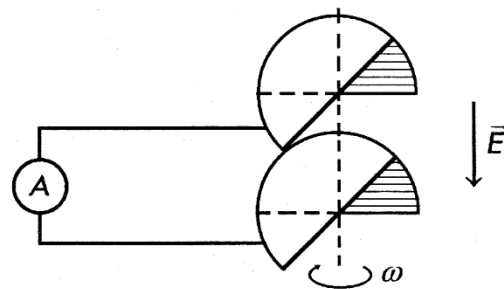
11 клас

1. У центрі одинокого дротяного зарядженого кільця з радіусом a потенціал дорівнює φ_0 . Це кільце піднесли до заземленої кулі з радіусом R так, що центр O кільця виявився на поверхні кулі. Визначте індукований на кулі заряд.

2. Прямокутна пластинка довжиною L , рухаючись поступально зі швидкістю v по гладенькій горизонтальній площині, наїжджає під кутом 90° на шорстку смугу шириною l і зупиняється, пройшовши від початку гальмування шлях S такий, що $l < S < L$. Визначити коефіцієнт тертя між площинами пластини і смуги.

3. На столі лежить вантаж масою m , до якого прикріплена пружина жорсткістю k . Пружину починають піднімати за вільний кінець зі сталою швидкістю v . Визначити максимальне видовження пружини, якщо її початкова деформація дорівнює нулю.

4. У конденсатора змінної ємності обкладки складаються з двох пар півдисків з однаковим радіусом R , що торкаються. Рухомі півдиски верхньої і нижньої обкладок обертаються з кутовою швидкістю, то повністю перекриваючи нерухомі, то утворюючи з ними повні диски. Конденсатор міститься у зовнішньому електричному полі напруженістю E , що перпендикулярне до обкладок. Конденсатор замкнутий дротом з нульовим опором. Який струм тече по ньому? Побудуйте графік залежності струму від часу. Відстань між обкладками мала порівняно з їхніми радіусами.



5. Послідовно з обмоткою трансформатора в коло змінного струму увімкнена лампа. Якщо ззовні охопити трансформатор провідником, то розжарення лампи не змінюється. Якщо провідник пропустити всередину трансформатора і замкнути, то лампа горить яскравіше. Пояснити це.

Матеріали підготував В.Алексейчук

(Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади наведені на 38 стор. цього журналу)



Команда Львівського фізико-математичного ліцею — призер Всеукраїнського турніру юних фізиків 1996 р. Зліва направо: Максим Морус, Дмитро Козаков, Роман Шопа, Андрій Невідомський, Тарас Пацаган, Олександр Гальчинський (керівник команди).



Юні друзі! Матеріали рубрики “Шпaргaлкa абiтyрiєнтa” допоможуть Вам ґрунтовно підготуватися до випускних екзаменів з фізики за середню школу та вступних екзаменів у вищі навчальні заклади, дадуть змогу оволодіти мистецтвом розв’язування задач з фізики, ознайомлять з варіантами вступних тестів і білетів з фізики у провідні вузи нашої країни.

Сподіваємось, що про всі свої проблеми, які трапляються у вивченні фізики, повідомите нас, а ми на сторінках нашої рубрики спробуємо вам допомогти.

Дві задачі

Сьогодні у багатьох вузах вступний іспит з фізики складають не лише на факультети фізико-технічного профілю, хоча кількість годин з цього предмета в школах досить обмежена. Це спонукає старшокласників до посиленої самостійної роботи, зокрема, над розв’язуванням фізичних задач різних типів та рівня складності. Допомогу в цьому надають підручники, збірники задач та інша фахова література. Проте у багатьох підручниках є помилки. Ми розглядатимемо лише помилки, які зроблені в розв’язках задач і які мають фізичний характер.

Мабуть, багатьом абітурієнтам відома книга “Задачі з фізики для вступників до вузів”, авторами якої є Г.А.Бендриков, Б.Б.Буховцев, В.В.Керженцев та Г.Я.Мякішев. Цей збірник складено в основному із задач, пропонує на вступних іспитах з фізики в Московському університеті. Варто зазначити, що ця книга є надійним помічником у підготовці до вступних іспитів. Основна її цінність полягає в тому, що там міститься велика кількість задач різної складності з детальним поясненням розв’язку. Увагу автора привернула задача № 255 (стор. 48):

На краю горизонтальної платформи радіусом $R = 1$ м лежить вантаж. У який момент часу t після початку обертання платформи вантаж зісковзне з неї, якщо її обертання рівноприскорене і в момент часу $t_0 = 2$ хв вона має кутову швидкість $\omega_0 = 1,4$ рад/с? Коефіцієнт тертя між вантажем і платформою $k = 0,05$.

Розв’яжемо цю задачу. Згідно з умовою, вантаж на диску рухається прискорено, отже, тіло має одночасно доцентрове і дотичне прискорення (рис. 1).

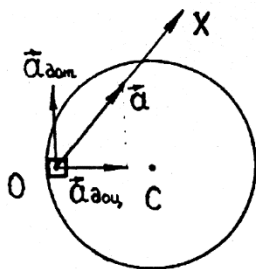


Рис. 1.

Результуючого прискорення \vec{a} тілові надає сила тертя $F_T = kmg$:

$$m\vec{a} = \vec{F}_T. \quad (1)$$

Рівняння (1) в проекції на вісь Ox :

$$m\sqrt{a_{доц}^2 + a_{дот}^2} = kmg. \quad (2)$$

Однак $a_{доц} = \omega^2 R$, а

$$a_{дот} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta(\omega R)}{\Delta t} = \beta R, \quad (3)$$

де β — кутове прискорення. Оскільки $\omega_n = 0$ (за умовою), то

$$\omega(t) = \omega_n + \beta t = \beta t, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\omega_0}{t_0}. \quad (5)$$

Підставляючи вирази (4) і (5) у (3), отримаємо

$$a_{доц} = \omega^2 R = (\beta t)^2 R = \frac{\omega_0^2 R t^2}{t_0^2},$$

$$a_{дот} = \beta R = \frac{\omega_0 R}{t_0}. \quad (6)$$

Враховуючи співвідношення (6) із формули (2), маємо

$$m\sqrt{\frac{\omega_0^4 R^2 t^4}{t_0^4} + \frac{\omega_0^2 R^2}{t_0^2}} = kmg. \quad (7)$$

Із рівності (7) знаходимо невідому величину:

$$t = \left\{ \frac{k^2 g^2 t_0^4}{\omega_0^4 R^2} - \frac{t_0^2}{\omega_0^2} \right\}^{\frac{1}{4}}. \quad (8)$$

В збірнику “Задачі з фізики для вступників до вузів” розв’язок задачі має такий вигляд (стор. 247):

$$t = \frac{t_0}{\omega} \sqrt{\frac{kg}{R}}. \quad (9)$$

Аналізуючи (9) та порівнюючи його з (8), можемо зробити висновок, що автори, розв’язуючи задачу, знехтували дотичним прискоренням, що вважається принциповою фізичною помилкою.

Цікавою є також книга “Прикладна фізика”, яку випущено Інститутом системних досліджень освіти України у видавництві “Генеза” у 1993 р. Цей посібник-довідник складається з двох частин, перша



з яких містить тестові задачі, а друга — їхні розв'язки. Задача 1-228 В (стор. 22) має таку умову:

Куб масою 100 г шарнірно закріплений по ребру А. Куля масою 10 г летить горизонтально і застрягає в центрі куба. Яку мінімальну швидкість v повинна мати куля, щоб після удару куб перевернувся на іншу грань. Сторона куба 20 см.

Автори дають такий розв'язок (стор. 65). Удар непружний. За законом збереження імпульсу

$$mv = (m + M)u; \quad u = \frac{m}{m + M} v,$$

де u — початкова швидкість куба після удару (з такою швидкістю він полетів би, якби не було шарніра). Завдяки шарніру куб (разом з кулею) обертається, його центр мас підніметься на висоту h . За законом збереження енергії

$$\frac{(m + M)u^2}{2} = (m + M)gh; \quad u^2 = 2gh;$$

$$h = \frac{\sqrt{2}}{2}l - \frac{l}{2} = \frac{l}{2}(\sqrt{2} - 1);$$

$$\frac{m^2}{(M + m)^2} v^2 = 2g \frac{l}{2}(\sqrt{2} - 1); \quad (10)$$

$$v^2 = \left(\frac{M + m}{m}\right)^2 gl(\sqrt{2} - 1).$$

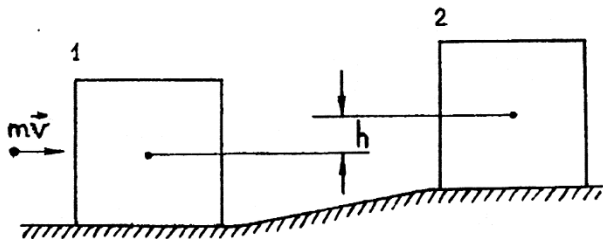


Рис. 2.

Змінимо умову: *заберемо шарнір і помістимо куб на гладку похилу поверхню. На яку висоту підніметься куб після того, як у ньому застрягне куля масою m ?*

Очевидно, розв'язок задачі повністю збіжиться із розв'язком задачі 1-228 В. Але ж це різні задачі: у першому випадку тіло (куб) рухається обертально, а в другому — поступально. Задачу 1-228 В слід розв'язувати з урахуванням обертального руху.

За законом збереження моменту імпульсу

$$mvr = J_A \omega_0; \quad \omega_0 = \frac{mvr}{J_A}, \quad (11)$$

де ω_0 — початкова кутова швидкість обертання куба з кулею, J_A — момент інерції куба та кулі відносно осі обертання. Після удару куб почне обертатися, отже, буде мати кінетичну енергію обертального руху:

$$K_{об} = J_A \frac{\omega_0^2}{2}.$$

Для того, щоб куб перевернувся, його центр мас повинен піднятися на висоту h (рис. 2):

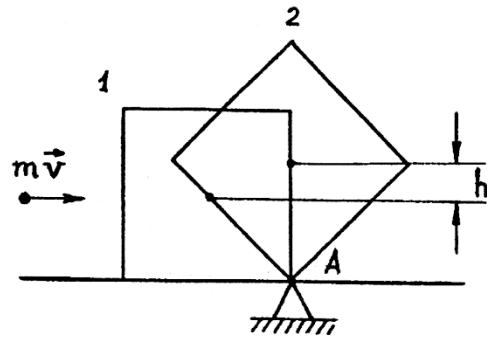


Рис. 3.

$$\frac{J_A \omega_0^2}{2} = (m + M)gh. \quad (12)$$

Враховуючи співвідношення (11), з формули (12) отримаємо

$$\frac{J_A m^2 v^2 r^2}{2J_A^2} = (m + M)gh;$$

$$v = \sqrt{\frac{2(m + M)ghJ_A}{m^2 r^2}}, \quad (13)$$

але $r = \frac{l}{2}$ (за умовою), а $h = \frac{l}{2}(\sqrt{2} - 1)$. Тоді розв'язок задачі набуде остаточного вигляду:

$$v = \frac{2}{m} \sqrt{\frac{(m + M)gJ_A(\sqrt{2} - 1)}{l}}. \quad (14)$$

Формула (14) суттєво відрізняється від формули (10) і містить невідому величину J_A , яку слід задати умовою. Звичайно, цей розв'язок виходить за межі шкільної програми, однак є в програмі спеціалізованих шкіл та фізико-математичних класів.

Як бачимо з наведених прикладів, інколи в таких солідних книжках можуть бути допущені деякі помилки. Тому ми націлюємо читачів завжди критично (зрозуміло, в межах розумного) ставитись до прочитаного, а розв'язуючи задачі, обов'язково створювати фізичну модель та вникати в ті фізичні процеси та явища, про які йдеться в умові.

Ігор Теличин,
Львівський фізико-математичний ліцей



Юні друзі!

Ви мрієте стати вченими, прагнете творити нові фізичні теорії і відкриття, але все це в майбутньому. Сьогодні ви навчаєтесь у школі, вузі, і у вас є вже певний доробок, власні думки і погляди на ту чи іншу проблему, бажання ознайомити із своїми думками ваших ровесників, привернути увагу до своїх поглядів авторитетних вчених. У цьому вам допоможе рубрика журналу "Творчість юних". Чекаємо на ваші перші кроки у фізиці.

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФОТОЕЛЕКТРЕТІВ

У практиці постійно зростає інтерес до пристроїв, які здатні розпізнавати (порівнювати) предмети або їхні зображення. Зрозуміло, що звична для людини операція розпізнавання досить складна для технічної реалізації, оскільки потребує створення штучного інтелекту. Технічні засоби для розпізнавання образів використовуються як складові елементи складних робототехнічних комплексів на високотехнологічних виробництвах або як елементи систем високоточної зброї.

Це спонукало до того, що в останнє десятиліття дана галузь науки і техніки інтенсивно розвивається, створюють системи розпізнавання образів різного ступеня складності, робота яких ґрунтується на різних фізичних принципах.

Ми спробуємо показати, як на основі загальновідомих фізичних явищ можна створити потрібний прилад, який характеризувався би простою схемою реалізації. На нашу думку, конкретний розгляд принципу функціонування такого пристрою, робота якого ґрунтується на основних властивостях фотоелектретів, дасть змогу вперше ознайомитися з актуальною галуззю науки і техніки тим молодим людям, які цікавляться фізикою і перед якими стоїть проблема вибору майбутньої професії.

Фотоелектрети, як відомо, є одним з різновидів електретів. Характерна їх властивість така, що вони поляризуються під час одночасної дії електричного поля і світла. Розглянемо коротко фізичну суть фотоелектретного ефекту. Він є різновидом електретного ефекту, що характерний для деяких діелектриків. У звичайному діелектрику поляризація зникає після вимкнення зовнішнього електричного поля. В електреті ж після зняття зовнішнього поля є залишкова поляризованість. Розглянемо тепер особливості фотоелектретного ефекту. Він полягає в тому, що, крім прикладення електричного поля, для створення електретного стану зразок також потрібно опромінювати світлом. Якщо ж зразок опромінювати, то носії вивільняються і починають переміщатись:

електрони — до анода, а дірки — до катода. За таких умов біля електродів створюється надлишок електричного заряду. Якщо ж тепер вимкнути світло, то носії локалізуються на рівнях прилипання і після зняття поля фотоелектрет є поляризованим. Фотоелектретний стан нерівноважний, тому навіть у темноті фотоелектрет повільно переходить у рівноважний стан (відбувається темнова деполіризація). При освітленні, яке генерує вільні носії зарядів, фотоелектретний стан швидко руйнується (фотодеполяризація) (рис. 1).

$Q(t)$, відн. од.

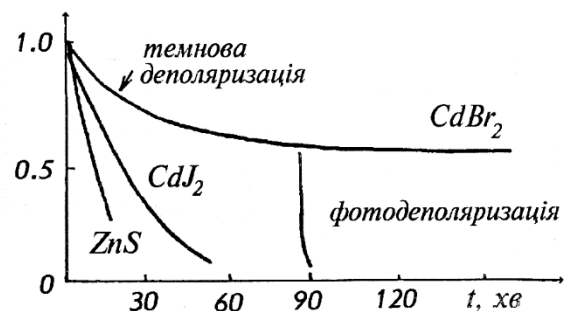


Рис. 1. Часові залежності процесів темної деполіризації і фотодеполяризації.

Процес розрядки фотоелектрета у випадку оптичного збудження характеризується фотополяризаційним струмом, який по своєю природою є фотострумом, що виникає під дією внутрішнього електричного поля фотоелектрета.

Кінетику фотополяризації і фотодеполяризації описують вирази:

$$Q(t) = -\varepsilon_0 S E_s (1 - e^{-\lambda t}) \quad (1)$$

$$Q = Q_0 e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

де $Q(t)$ — заряд фотоелектрета в процесі фото-



поляризації чи фотодеполяризації, $\lambda = \mu q_0$; μ — рухливість носіїв; q_0 — елементарний заряд, E_s — зовнішнє електричне поле; S — площа зразка; n — концентрація носіїв.

Слід зазначити, що процес утворення і руйнування фотоелектретного стану підлягає закону взаємозамінності, який стверджує: об'ємний заряд, що утворюється під час фотополяризації або зменшується під час фотодеполяризації, залежить тільки від експозиції (добутку інтенсивності світла на час). Отже, чим більша освітленість фотоелектрета, тим швидше відбуваються процеси утворення (якщо наявне зовнішнє електричне поле) чи руйнування (якщо його нема) фотоелектретного стану.

Тепер, на підставі описаних вище основних властивостей фотоелектретів, покажемо, як можна використовувати їх у системах розпізнавання оптичних образів.

Процес розпізнавання (порівняння) предметів відбувається так. В електричне поле поміщують фотоелектрет з високою роздільною здатністю і за допомогою оптичної системи формують на його поверхні зображення еталонного предмета. За таких умов у фотоелектреті формується фотоелектретний стан, кінетику утворення якого в загальному випадку описує формула (1). У випадку короткочасної фотополяризації фотоелектретний заряд на кожному елементі поверхні фотоелектрета

$$q(x, y) = \alpha E F(x, y) t, \quad (3)$$

де α — коефіцієнт пропорційності; E — напруженість електричного поля; $F(x, y)$ — двовимірна функція, яка характеризує зображення еталонного предмета на поверхні фотоелектрета (просторова освітленість).

Формула (3) описує експериментально одержані залежності і її легко отримати з (1). В темряві таке приховане електростатичне зображення може зберігатися протягом тривалого часу ($t = 1 - 50$ год). Час збереження зображення залежить в основному від різновиду фотоелектрета.

Під час повторного короткочасного освітлення фотоелектрета зображенням досліджуваного предмета відбуватиметься часткова фотодеполяризація фотоелектрета, і в зовнішньому колі протікатиме фотодеполяризаційний струм, величину якого можна обчислити за такою формулою:

$$I_D = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\sum_{x,y} \Delta q(x, y)}{\Delta t}. \quad (4)$$

Якщо скористатися означенням спектральної чутливості (СЧ) фотоелектретного стану (СЧ фотоелектретного стану — це величина, яка дорівнює відносній зміні фотоелектретного заряду, що відбувається, при сталій кількості фотодеполяризую-

чого світла), то спектральна чутливість S_λ елемента поверхні визначатиметься так:

$$S_\lambda = \frac{\Delta q(x, y)}{q(x, y) F_1(x, y) \Delta t}, \quad (5)$$

де $F_1(x, y)$ — двовимірна функція, яка характеризує зображення досліджуваного предмета на поверхні фотоелектрета.

На підставі формул (3) і (5) одержуємо вираз для струму фотодеполяризації i_D елемента поверхні фотоелектрета:

$$i_D = \frac{\Delta q(x, y)}{\Delta t} = \alpha E S_\lambda t [F_1(x, y) F(x, y)]. \quad (6)$$

Підставляючи вираз (6) у формулу (4), одержимо аналітичний вираз для обчислення інтегрального фотодеполяризаційного струму I_D , значення якого залежатиме від подібності двовимірних функцій, які описують еталонне і досліджуване зображення:

$$I_D = \alpha E S_\lambda t \sum_{x,y} [F(x, y) F_1(x, y)]. \quad (7)$$

З (7) випливає, що у випадку, коли функція $F_1(x, y)$ і функція $F(x, y)$ будуть тотожні, фотодеполяризаційний струм досягне максимального значення.

Отже, фотодеполяризаційний струм, який виникає під час короткочасового освітлення зображенням досліджуваного предмета фотоелектрета, на якому вже записано в електростатичній формі зображення еталонного предмета, може служити мірою їхнього збігу.

Описаний вище процес розпізнавання оптичних зображень може відтворювати схема, зображена на рис. 2.

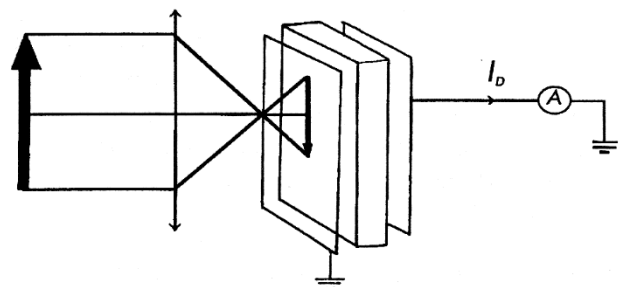


Рис. 2. Схема для розпізнавання зображень

Зрозуміло, що нормальне функціонування цієї схеми залежить від узгодженості спектрального складу відбитих від предмета світлових променів і СЧ фотоелектрета. На рис. 3 показані криві спектральної чутливості різних типів фотоелектретів при кімнатній температурі.

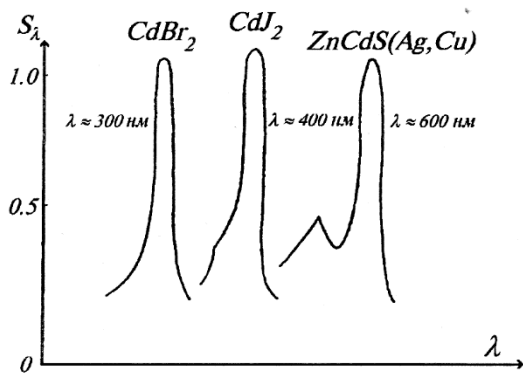


Рис. 3. Спектральні чутливості фотоелектретів.

Характерною ознакою цього методу є простота його апаратної реалізації, що досягається завдяки суміщенню в одному вузлі — фотоелектреті — декількох функцій, а саме:

1. запам'ятовування еталонного зображення у вигляді поверхневого розподілу електричного заряду;
2. порівняння досліджуваного й еталонного зображень.
3. генерування електричного сигналу, який характеризує ступінь їхньої подібності.

*Тарас Фітьо, Роман Паранчук,
Львівський фізико-математичний лицей,
Львівський держуніверситет*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СПЕКТРА ЕЛЕКТРИЧНО АКТИВНИХ ДЕФЕКТІВ В АМОРФНИХ І ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ШАРАХ SiO_2 СТРУКТУР $Si-SiO_2$

Структури $Si-SiO_2$ широко застосовують у мікроелектроніці. Вони є базовими для виготовлення мікросхем, польових транзисторів. Під час роботи електронних приладів структури $Si-SiO_2$ перебувають при різних температурах в електричному полі. За таких умов можлива мимовільна поляризація шару діоксиду кремнію (SiO_2), яка може бути зумовлена дрейфом в електричному полі електрично активних дефектів (іонів) і їхньою локалізацією при зниженні температури. І якщо така поляризація буде довготривалою, то це, зрозуміло, вплине на чутливість та частотні характеристики польових транзисторів. Тому дослідження термоелектретного стану (ТЕС) у шарі SiO_2 структур $Si-SiO_2$ є актуальною науково-практичною задачею.

Наша мета — з'ясувати умови виникнення поляризації в шарах SiO_2 . Досліджувалися аморфні та полікристалічні шари SiO_2 , порівнювалися умови поляризації для цих двох типів структур. Отримано енергетичний спектр електрично активних дефектів.

Для дослідження використовувався метод термостимульованої деполізації (ТСД). Його звичайно застосовують для досліджень різних типів електретів, але розглянемо його реалізацію та інформативність у випадку застосування для вивчення термоелектретів. Суть методу ТСД полягає в реєстрації струму розряду електретного заряду під час нагрівання електрета зі сталою швидкістю, тобто отриманні струму ТСД як функції температури.

Термоелектретний стан в SiO_2 утворюється

за рахунок перерозподілу іонів, які є дефектами в структурі SiO_2 . Під час нагрівання іони (дефекти) активуються, вивільняються із місць локалізації, виникає струм розряду електретного стану, тобто струм ТСД. В термоелектреті є дефекти різного роду, з різними енергіями активації, а отже, температура, при якій вони вивільняться, буде різною. Причому в аморфних, неупорядкованих структурах енергетичний спектр таких центрів буде характеризуватися не одним значенням енергії, а певним розподілом, оскільки енергетичний стан кожного окремого домішкового іона, буде дещо іншим у наслідок неупорядкованості структури матриці SiO_2 . Аналітичний вираз, який в загальній формі описує процес ТСД у неупорядкованих структурах, має вигляд

$$J = \iint g(E, \omega) \exp\left(-\frac{E}{kT} - \frac{\omega}{\beta} \int_0^T \exp\left(-\frac{E}{kT'}\right) dT'\right) dE d\omega$$

де ω — частотний фактор; β — швидкість нагрівання; E — енергія активації дефекту.

Якщо ліву частину такої рівності (струм ТСД) виміряти експериментально, то отримаємо некоректне інтегральне рівняння Фредгольма I роду, розв'язати яке можна за відомими алгоритмами, використовуючи ЕОМ і визначивши функцію розподілу дефектів (іонів) за енергією. Для отримання спектра ТСД зразок спочатку поляризують, тобто виконують термостимульовану поляризацію (ТСП). Для процесів ТСП і ТСД зразок розташовували між двома мідними електродами (рис. 1), від яких він відокремлений діелектричними плівками, що



давало змогу, прикладаючи напругу до електродів, діяти на зразок безросередньо

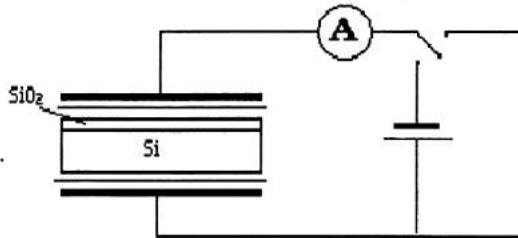


Рис. 1.

електричним полем. Отже, помістивши зразок у кріостат, можемо, змінюючи температуру зразка, прикладати електричне поле, а також знімати струм ТСД. Під час ТСП до зразка прикладають постійне електричне поле, зразок лінійно з часом нагрівають, а потім лінійно з часом охолоджують. Таким чином отримують ТЕС. У випадку ТСД зразок також лінійно нагрівають, відбувається розряд електретного стану, в колі (рис. 2) протікає струм, який визначають амперметром і фіксують самописцем.

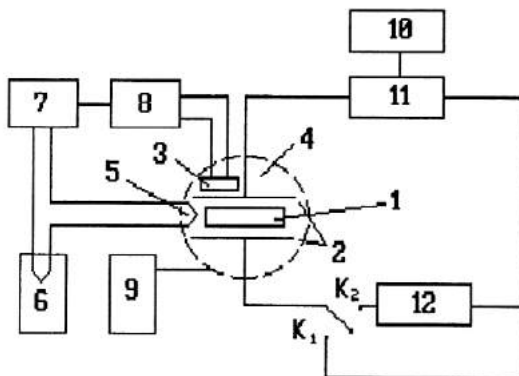


Рис. 2. Блок-схема пристрою для ТСП і ТСД Si-SiO₂-структур: 1 - Зразок; 2 - Електроди; 3 - Мідний шток, пічка; 4 - Вакуумний кріостат; 5 - Термопара; 6 - Посудина з азотом; 7 - Система автоматичного регулювання температури; 8 - Джерело живлення пічки; 9 - Форвакуумний насос; 10 - Самописець; 11 - Вольтметр-електрометр (В7-30); 12 - Джерело стабілізованої напруги.

На рис. 3 зображено експериментально отримані криві струму ТСД для аморфного і

полікристалічного SiO₂ структур Si-SiO₂. Пік струму ТСД при 360 - 410 К в аморфному SiO₂ пояснюється наявністю в ньому іонів водню H⁺. У полікристалічному SiO₂ роль іонів водню у формуванні електретного стану менше виражена. При вищих температурах стрімко зростає струм ТСД і в аморфному, і в полікристалічному SiO₂. Це пояснюється наявністю в досліджуваних зразках SiO₂ іонів лужних металів Na⁺, K⁺.

З експериментально отриманих даних залежності струму ТСД від температури було визначено функцію розподілу іонів за енергіями активації $g(E)$ (рис. 4). Порівнявши два графіки, побачимо, що в полікристалічному SiO₂ переважають іони з більшою енергією активації, ніж в аморфному.

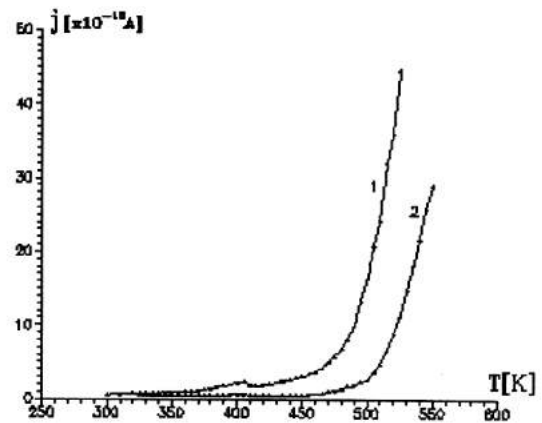


Рис. 3. Залежність струму ТСП від температури: 1 — аморфний Si-SiO₂; 2 — полікристалічний Si-SiO₂

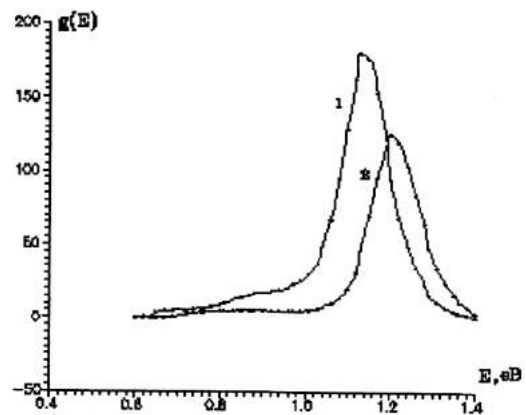


Рис. 4. Функція розподілу іонів за енергіями активації: 1 — аморфний Si-SiO₂; 2 — полікристалічний Si-SiO₂.



Отже, наше дослідження дало нам змогу отримати енергетичний спектр електрично активних дефектів в аморфних і полікристалічних шарах SiO_2 структур Si-SiO_2 і визначити, що полікристалічний SiO_2 більш стійкий до виникнення неконтрольованої

поляризації, ніж аморфний, оскільки в ньому менше дефектів з малими енергіями активації $\sim 0.7-0.8$ еВ.

*Тарас Пацаган,
Львівський фізико-математичний ліцей*

“ЦАР-ГАРМАТА”

Вашій увазі пропонуємо можливий розв’язок задачі “Цар-гармата”, що була на IV Всеукраїнському турнірі юних фізиків. У задачі потрібно відшукати максимально можливу товщину стіни, яку може зруйнувати пострілом Цар-гармата.

Задачу можна чітко поділити на дві частини. Перша — це знаходження максимальної швидкості, яку може надати гармата ядру (пізніше буде показано, що обмеження накладає міцність стінок гармати). Друга — обчислення максимальної товщини стіни, яку може зруйнувати ядро з даною кінетичною енергією.

Параметри гармати:
довжина жерла (ствола) $L = 5,43$ м;
маса ядра $m = 3$ т;
діаметр ядра $d = 0,89$ м;
товщина стінки гармати $\Delta h = 0,25$ м;
межа міцності матеріалу гармати $\sigma_{\max} = 0,15 \cdot 10^9$ Па.

Оцінимо максимальний тиск порохових газів, який ще витримують стінки гармати, з тих міркувань, що під дією газів напруження у стінці досягне критичного значення:

$$P_{\max} d = 2 \sigma_{\max} \Delta h; \quad P_{\max} = 8 \cdot 10^7 \text{ Па}; \quad (1)$$

Тепер оцінимо тиск газів, який виникає внаслідок згоряння щільної упаковки порошу. Процес горіння порошу відбувається при температурі $T = 3000\text{К}$ за рівнянням реакції:

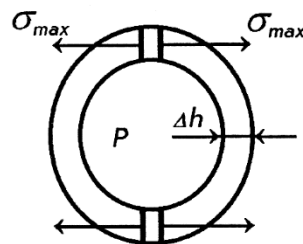
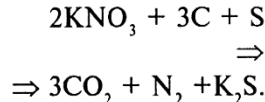


Рис.1.



При цьому з 1кг порошу утворюється близько 20 моль газів. Густина щільної упаковки порошу близько 1500 кг/м^3 , тобто утворена при згорянні порошу концентрація газів буде $n \approx 3,2 \cdot 10^4$ моль/м³.

За рівнянням Менделєєва-Клапейрона знаходимо $P = nRT \approx 8 \cdot 10^8$ Па. Цей тиск на порядок перевищує максимально можливий (1) для цієї гармати. Отже, не дивно, що з гармати ще ніхто не стріляв. При невеликому перевищенні критичної кількості порошу гармата становила б серйозну загрозу для тих, хто стріляє. Точно ж порахувати потрібну масу порошу у ті часи не було змоги, і ніхто не ризикував її визначити експериментально.

Задумана як супергармата, внаслідок помилки її творця Чохова, так і залишилася стояти під стінами московського Кремля.

Але уявімо собі, що з гармати все-таки вдалося зробити постріл. Знайдемо оптимальне розміщення ядра у стволі і максимальну енергію, а отже, і швидкість ядра під час вильоту. Процес пострілу будемо вважати адіабатним. Це припущення досить близьке до реальності: процес швидкий, теплообмін із навколишнім середовищем незначний.

Нехай l — це оптимальна відстань від задньої стінки гармати для початкового розміщення ядра у стволі.

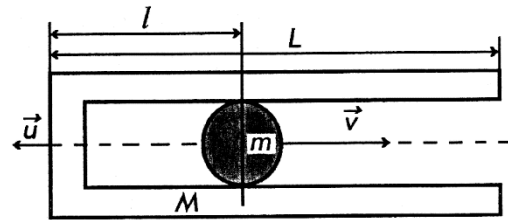


Рис. 2.

Тоді роботу порохових газів можна записати у вигляді:

$$A = \frac{P_{\max} l S}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{l}{L} \right)^{\gamma-1} \right). \quad (2)$$

Продиференціювавши (2) по l , і прирівнявши похідну до 0, отримуємо, що оптимальне

$$l = L \left(\frac{1}{\gamma} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \approx 0,43L, \quad (3)$$

де $\gamma = c_p/c_v \approx 7/5$ для 80 % утворених газів.

Тепер підрахуємо, яка частина енергії передається ядру. Нехай V , U — це відповідно швидкості ядра і гармати після пострілу. Застосувавши закон збереження енергії і закон збереження імпульсу, можна знайти енергію ядра:

$$\begin{cases} \frac{mV^2}{2} + \frac{MU^2}{2} = A; \\ mV = MU. \end{cases}$$



$$\frac{mV^2}{2} = E = \frac{A}{1 + m/M} = 7,8 \cdot 10^7 \text{ Дж.}$$

Поклавши ККД гармати $\approx 70\%$, остаточно маємо $E = 5,2 \cdot 10^7 \text{ Дж.}$ (4)

Розглянемо проблему руйнування стіни фортеці. Один із можливих механізмів цього процесу такий: після попадання ядра у стіну, вона формується зсув. До відстані три-чотири радіуси ядра ця деформація досягає критичної. В результаті цього ділянка стіни почне руйнуватися, а за рахунок локальних неоднорідностей стінки утвориться рвана дірка розміром два-чотири радіуси ядра.

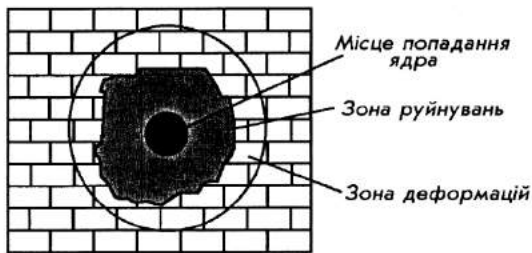


Рис. 3.

Припустимо, що вся енергія ядра перейшла в енергію деформації стіни. Деформацію наближено можна вважати пружною, оскільки у крихких матеріалів (матеріал стіни) межа міцності є відразу за межею пружності:

Основні параметри стіни:
модуль зсува $G = 1 \cdot 10^9 \text{ Па}$;
межа міцності $\tau_{\max} = 1 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

Розподіл напруження зсуву буде такий: до чотирьох радіусів (зона руйнувань) напруження буде критичним $\tau_{(h)} = \tau_{\max}$. Енергія деформації у концентричному шарі товщиною dh на відстані h від місця попадання буде:

$$dE_1 = \pi h \frac{G}{dh} \left(\frac{\tau_{\max} dh}{G} \right)^2.$$

Звідси повна енергія у зоні руйнувань

$$E_1 = \int_0^{2d} \frac{\pi l \tau_{\max}^2}{G} h dh = \frac{4 \pi l \tau_{\max}^2 d^2}{2G}. \quad (5)$$

Для зони деформацій, яка простягається до $10d$ (на практиці можна обмежитись цим числом), сила взаємодії між будь-якими концентричними шарами є сталою, тому

$$\tau_{(h)} \cdot 2\pi h = \text{const} \Rightarrow \tau_{(h)} = \frac{\tau_{\max} h_0}{h}. \quad h_0 = 2d.$$

Енергія ж деформації в цій зоні буде визначатися

$$dE_2 = \frac{\pi h l G}{dh} \left(\frac{\tau_{(h)} dh}{G} \right)^2 = \frac{\pi l \tau_{\max}^2 h_0^2}{G} \cdot \frac{dh}{h}. \quad (6)$$

$$E_2 = \int_{2d}^{10d} \frac{\pi l \tau_{\max}^2 4d^2}{G} \cdot \frac{dh}{h} = \frac{4 \pi l \tau_{\max}^2 d^2}{G} \ln 5.$$

Прирівнюючи суму (5) і (6) до (4) $E = E_1 + E_2$, дістаємо вираз для максимальної товщини стіни

$$l = \frac{EG}{2\pi \tau_{\max}^2 (1 + 2 \ln 5)} \approx 2,5 \text{ м.}$$

Незважаючи на те, що проблеми середньовічної зброї і міцності фортечних мурів відійшли в минуле і втратили актуальність, ми, розв'язуючи цю задачу, глибше вникнули у проблеми газової кінетики, міцності матеріалів, їхнього руйнування, і побачили низку нових проблем, які ще недостатньо висвітлені в літературі і привертають нашу увагу як фізиків.

Максим Морус,
Львівський фізико-математичний ліцей

ДИФРАКЦІЯ СВІТЛА НА ДРІБНОКОМІРКОВИХ СТРУКТУРАХ

У хвильовій оптиці загальноприйнятою є класична теорія дифракції на періодичних структурах (наприклад, на дифракційних ґратках). Звичайно розглядають дещо спрощені моделі: монохроматичне джерело світла, плоску світлову хвилю, плоску ґратку (під час розкладу у ряд Фур'є функції пропускання тривимірність враховують), строгу періодичність ґратки тощо. Дифракцію Френеля чи дифрагування немонохроматичного світла під кутами падіння, відмінними від 90° , описують не часто. Практично немає також описів цього явища на інших періодичних структурах.

Розглянемо один із випадків дифракції на

інших періодичних структурах — дрібнокоміркових сітках, хоча для наших моделей деякі з зазначених вище моментів теж будемо опускати. Спробуємо також показати відмінності між дифракцією на ґратці і дифракцією на сітці.

Спочатку визначимо умови утворення дифракційної картини. Очевидно, її не можна спостерігати у випадку неоднорідної сітки, або отриману картину важко буде описати аналітично. Важливу роль відіграють також інші фактори: ширина (діаметр) світлового пучка, відстань від сітки до екрана чи ока, спосіб розміщення отворів і періоди сітки.

Розглянемо перш за все дифракцію на сітці,



використовуючи найпростішу модель. Змодельуємо сітку як накладання двох лінійних ґраток впритул розміщених одна за одною (рис. 1).

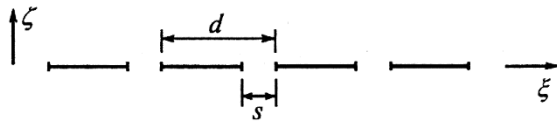


Рис. 1.

З теорії дифракційної ґратки визначимо умову інтерференції для випадку падіння пучка паралельних променів фіксованої довжини світлової хвилі під певним кутом (рис. 2):

$$d(\sin \theta - \sin \theta_0) = m\lambda, \quad m \in Z. \quad (1)$$

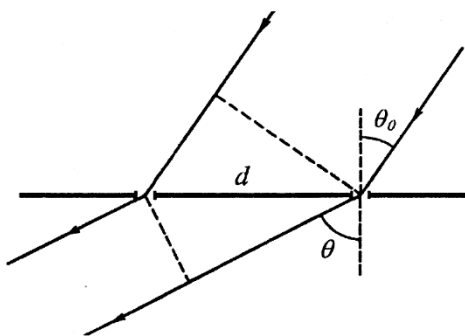


Рис. 2.

Якщо повна кількість штрихів ґратки N , то мінімуми інтенсивності будуть спостерігатись у напрямках, що визначаються співвідношенням

$$d(\sin \theta - \sin \theta_0) = n\lambda/N, \quad n \in Z. \quad (2)$$

Випадок, коли n/N дорівнює цілому числу, вилучається. Напрямок будемо називати $p = \sin \theta - \sin \theta_0$. З властивості розподілу інтенсивності світла по спектру функції пропускання простої лінійної ґратки виводять залежність інтенсивності від напрямку:

$$I(p) = \frac{s^2 L}{\lambda} \left(\frac{\sin(Nkpd/2)}{\sin(kpd/2)} \right)^2 \left(\frac{\sin(Nsp/2)}{ksp/2} \right)^2. \quad (3)$$

Тут s — ширина отвору однієї комірки (рис. 1), L — довжина одного штриха, d — період ґратки, λ — довжина монохроматичної світлової хвилі, k — хвильове число ($k = 2\pi/\lambda$).

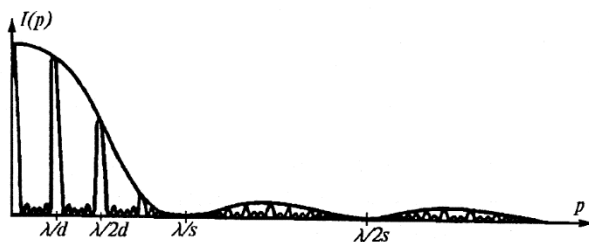


Рис. 3.

На рис. 3 показано графік цієї функції. Останній множник з (3) має максимум при $p = 0$ і мінімуми при

$$p = n\lambda/s, \quad n \in Z. \quad (4)$$

Якщо $\lambda/s \gg \lambda/d$, то функція (3) має, крім головних, ряд чітких максимумів, що поступово спадають.

Тепер можемо визначити роздільну здатність ґратки. Відстань між головним максимумом порядку m і сусіднім мінімумом визначається з (2) як

$$\Delta p = \frac{\lambda}{Nd}. \quad (5)$$

При зміні довжини хвилі на $\Delta\lambda$ максимуми порядку m змістяться на величину

$$\Delta p' = \frac{|m|}{d} \Delta\lambda. \quad (6)$$

Для розділення необхідно, щоб максимум однієї довжини хвилі збігався з мінімумом іншої.

Тоді $\Delta p = \Delta p'$, або

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = |m|N. \quad (7)$$

Для порядку m з (1) $d(\sin \theta - \sin \theta_0) = m\lambda$, тоді

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{Nd|\sin \theta - \sin \theta_0|}{\lambda}. \quad (8)$$

Оскільки $|\sin \theta - \sin \theta_0|$ не може перевищувати 2, то максимальна роздільна здатність ґратки шириною l

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{2l}{\lambda}. \quad (9)$$

Для сітки інтенсивність буде визначатись за двома напрямками з функціями $I_x(p)$ і $I_y(p)$. Для цих функцій можуть бути різні значення для періодів, ширин отворів комірок, довжин одного штриха.

Тепер розглянемо реальний випадок, коли сітка є тривимірною. Тоді функція пропускання по одній осі може виглядати таким чином (рис.4):

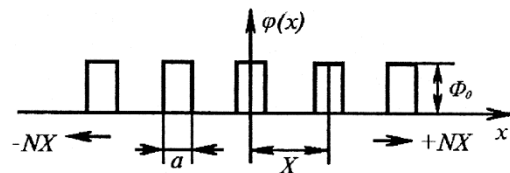


Рис. 4.

$$\varphi(x) = \sum_{k=-N}^N \varphi_0(x - kX),$$



$$\text{де } \varphi_0(x - kX) = \begin{cases} \Phi_0, & |x - kX| \leq a/2 \\ 0, & |x - kX| > a/2 \end{cases} \quad (10)$$

Інтенсивність пропущеного світла буде визначатись спектром цієї функції (рис. 5):

$$I(\omega_x) = \int_{-NX}^{+NX} \varphi(x) \exp(-j\omega_x x) dx, \quad (11)$$

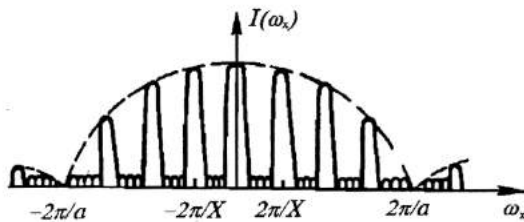


Рис. 5.

$$I(\omega_x) = \Phi_0 a \frac{\sin((N+1/2)\omega_x X/2)}{\sin(\omega_x X/2)} \times \frac{\sin(\omega_x a/2)}{\omega_x a/2}. \quad (12)$$

Слід зазначити, що графік інтенсивності наведений у залежності від просторової частоти, а не від напрямку.

Розглянемо нарешті вплив таких факторів, як ширина світлового пучка та немонохроматичність світла.

З (7) можна визначити мінімальну кількість штрихів для заданої конкретної роздільної здатності. Наприклад, щоб розділити дві лінії, довжини хвиль яких відрізняються на 10^{-2} нм, лежать в центрі видимої області спектра ($\lambda = 550$ нм) і спостерігаються в другому порядку, потрібно $N \geq 2700$ штрихів.

Щоб побачити дифракційну картину на екрані, необхідно, щоб інтерференційні максимуми не накладались один на один. Ця умова задається наближенням Фраунгофера:

$$D \gg \frac{k}{2}(x^2 + y^2), \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}, \quad (13)$$

x, y — лінійні розміри перерізу світлового пучка; D — відстань від сітки до екрана.

Максимуми будуть також спостерігатись, якщо виконуватиметься інша умова:

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{d}, \quad D \tan \theta \gg x, \quad D \gg \frac{x}{\tan \arcsin(\lambda/d)}, \quad (14)$$

де d — період ґратки; x — ширина пучка.

Але і це не є обмеженням. На шляху дифрагованого пучка променів можна поставити збиральну лінзу так, щоб її фокуси збігалися з координатами сітки й екрана. Тоді на екрані утворюється точкові максимуми інтерференції.

Під час дифрагування немонохроматичного пучка світла максимуми одного порядку однієї довжини хвилі можуть накладатися на максимуми іншого порядку іншої довжини хвилі. Тому чіткі максимуми можна побачити тільки тоді, коли сітка освітлена монохроматичним пучком світла. Проте формула (14) підходить також для квазімонохроматичного пучка, оскільки стоїть знак \gg .

Усі описані вище моделі дають уявлення про дифракцію на дрібнокоміркових структурах. Однак є ще деякі моменти, які не були враховані. Зокрема, дифрагування немонохроматичного пучка світла від точкового джерела або сферичної хвилі, дифракція на неідеальних сітках, дифракція у відбитому світлі. Проте всі ці моменти можна описати за аналогією, а показані випадки є найбільш основними і важливими для цього фізичного явища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kendall Preston Jr. Coherent optical computers. McGraw-Hill Book Company, 1972.
2. Born M., Wolf E. Principles of optics (Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light), Pergamon Press, 1964.
3. Goodman Joseph W. Introduction to Fourier optics. McGraw-Hill Book Company, 1968.
4. Порфирьев Л.Ф. Теория оптико-электронных приборов и систем. Л.: Машиностроение, 1980.

Роман Шопа,
Львівський фізико-математичний ліцей

Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики

8 клас

1. Визначимо теплову потужність, яка підводиться до склянки з навколишнього середовища

$$N = \frac{Q}{t} = \frac{\lambda \cdot m_\lambda}{t},$$

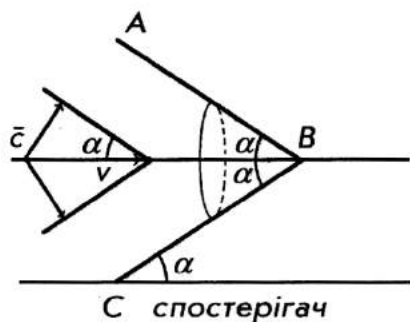
де λ — питома теплота плавлення льоду; m_λ — маса льоду; t — час плавлення.

Якщо забути покласти лід, вода у склянці почне нагріватись на

$$Q_1 = c_0 m_0 \Delta t = N t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{c_0 m_0 \Delta t \cdot t}{\lambda \cdot m_\lambda} = 152 \text{ с} \approx 2,5 \text{ хв.}$$

де Δt — зміна температури води.

2. Літак надзвуковий. За принципом Гюйгенса фронт звукової хвилі буде мати вигляд конуса (на рис. АВС), c — швидкість звуку у повітрі.



Як бачимо з рисунка, кут α визначається так:

$$\sin \alpha = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{340}{\sin 30^\circ} = 680 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

3. У пункті А складаємо коло 1 і вимірюємо струм I_1 :

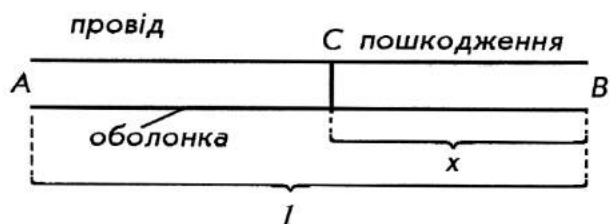
$$U = I_1(R_{\text{пр1}} + R_{\text{об}}) = I_1(\rho_{\text{пр}}(l-x) + \rho_{\text{об}}(l-x)) = I_1(l-x)(\rho_{\text{пр}} + \rho_{\text{об}}). \quad (1)$$

У пункті В складаємо коло 2 і вимірюємо I_2 :

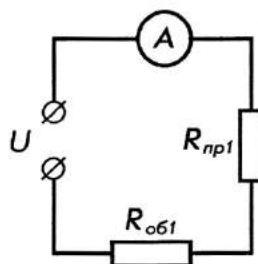
$$U = I_2(R_{\text{пр2}} + R_{\text{об}}) = I_2 x(\rho_{\text{пр}} + \rho_{\text{об}}). \quad (2)$$

З рівнянь (1) і (2) одержуємо $X = \frac{I_1 l}{I_1 + I_2}$. Тут X

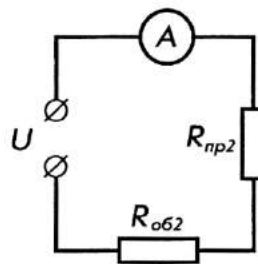
— відстань від місця пошкодження до пункту В.



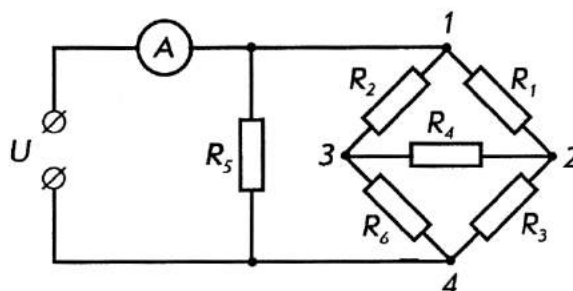
коло 1



коло 2



4. На рисунку показане еквівалентне електричне коло



Зауважимо що $\frac{R_2}{R_6} = \frac{2}{6}$, $\frac{R_1}{R_3} = \frac{1}{3}$.

Це означає, що спад напруги на опорах R_1 та R_2 однаковий, тобто напруга між точками $U_{23} = 0$. Тобто через R_4 струм $I_4 = 0$. Резистор R_4 можна викинути, тоді опір між точками 1 і 4

$$R_{14} = \frac{(R_1 + R_3)(R_2 + R_6)}{R_1 + R_3 + R_2 + R_6} = \frac{8}{3} \text{ Ом.}$$

Повний опір кола дорівнюватиме

$$R = \frac{R_5 \cdot R_{14}}{R_5 + R_{14}} = \frac{40}{23} \text{ Ом.}$$

Покази амперметра $I = \frac{U}{R} = 6,9 \text{ А.}$

9 клас

1. Очевидно, що максимальна швидкість всюдихода повинна бути меншою від першої космічної швидкості для астероїда. Розрахуємо першу космічну швидкість з другого закону Ньютона для руху по колу

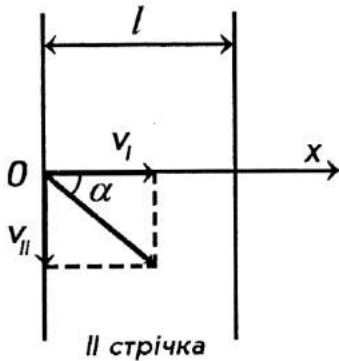
$$m \frac{v_1^2}{D} = \gamma \frac{m \cdot \frac{4}{3} \pi \frac{D^3}{8} \rho}{D^2} \Rightarrow v_1 = \sqrt{\gamma \frac{\pi D^2}{3} \rho}.$$

тоді мінімальний час поїздки

$$t = \frac{\pi D}{v_1} = \sqrt{\frac{3\pi}{\gamma \rho}} = 0,75 \cdot 10^4 \text{ с} = 2,09 \text{ год.}$$

Не об'їде.

2. У системі відліку пов'язаній з II стрічкою, деталі, що потрапляють на II стрічку, мають відносну швидкість $v = \sqrt{v_I^2 + v_{II}^2}$ (рис. 1). Тоді у першому випадку відносна швидкість $v_1 = v_0\sqrt{2}$, кут α визначається $\operatorname{tg}\alpha = \frac{v_{II}}{v_I} \Rightarrow \alpha_1 = 45^\circ$.



Якщо ширина II стрічки l , то деталь до зупинки проходить відстань $S_1 = \frac{l}{2 \cos \alpha} = \frac{l}{\sqrt{2}}$ (гальмівний шлях). З теореми про кінетичну енергію $\mu mg S_1 = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow \mu = \frac{v_0^2 \sqrt{2}}{gl}$.

У другому випадку відносна швидкість $v_2 = \sqrt{10} \cdot v_0$; $\operatorname{tg}\alpha_2 = 3$.

Визначимо гальмівний шлях деталі у другому

випадку $\mu mg S_2 = \frac{mv_2^2}{2} \Rightarrow S_2 = \frac{5l}{\sqrt{2}}$.

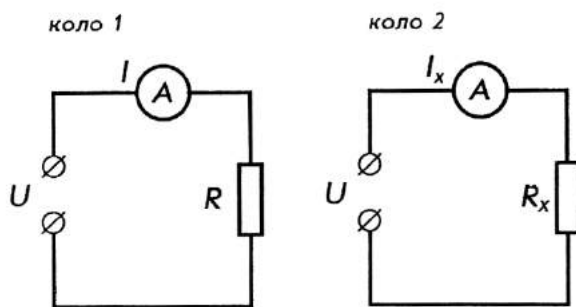
Визначимо проєкцію S_2 на вісь OX

$S_{2x} = \frac{5l}{\sqrt{2}} \cos \alpha_2$, але $\cos \alpha_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2}}$, тоді

$$S_{2x} = \frac{5l}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{10}} > l, \quad S_{2x} > l - \text{це означає,}$$

що деталі вилітатимуть за стрічку II.

3. Складемо коло 1: $U = IR$ (див. рис.).



Складемо коло 2:

$$U = I_x \cdot R_x, \quad R_x = \frac{IR}{I_x}.$$

4. Якщо швидкість катера і корабля сталі, то і відносна швидкість стала. Щоб вони зустрілись, необхідно, щоб відносна швидкість корабля v_{12} проходила через точку (див. рис. 1) перебування катера. Очевидно, що відстань $AB=BC$ $\bar{a} - \bar{b} = \bar{b} - \bar{c} \Rightarrow \bar{a} + \bar{c} = 2\bar{b}$ — умова зустрічі.

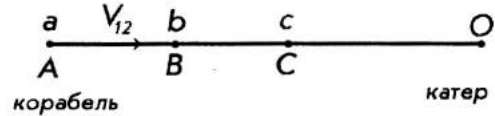


Рис. 1.

Кораблі не зустрічаються (див. рис. 2).



Рис. 2.

Запишемо теорему косинусів для трикутників 012, 013, 014

$$\begin{cases} b^2 = S_0^2 + a^2 - 2aS_0 \cos \alpha & (1) \\ c^2 = 4S_0^2 + a^2 - 4aS_0 \cos \alpha & (2) \\ d^2 = 9S_0^2 + a^2 - 6aS_0 \cos \alpha & (3) \end{cases}$$

$$3(1) \quad 2aS_0 \cos \alpha = S_0^2 + a^2 - b^2 \quad (4)$$

$$3(1) \text{ і } (2) \quad 4S_0^2 + a^2 - c^2 = 2S_0^2 + 2a^2 - 2b^2 \quad (5)$$

$$3(5) \quad S_0^2 = \frac{1}{2}(a^2 - 2b^2 + c^2) \quad (6)$$

Тепер (4) і (6) підставимо в (3):

$$d^2 = a^2 - 3b^2 + 3c^2, \quad d = \sqrt{a^2 - 3b^2 + 3c^2}.$$

Аналогічно шукаємо $f = \sqrt{3a^2 - 8b^2 + 6c^2}$, $d = 6,74$ км, $f = 8,47$ км.

5. Для абсолютно непружного удару запишемо (рис.1) закон збереження імпульсу:

$$Mv = (M + m)v_1 \Rightarrow v_2 = \frac{Mv}{M + m}.$$

Тоді швидкість другої шайби $v > v_1$. Друга шайба наздоганяє першу з відносною швидкістю

$$v_0 = v - v_1 = v \frac{m}{M + m}$$

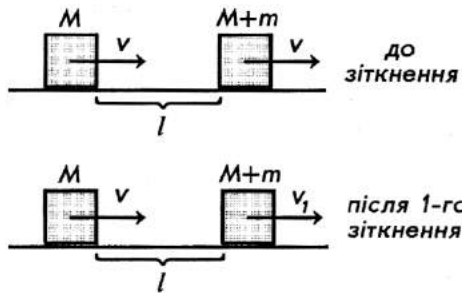


Рис. 1.

Зіткнення відбудеться через час

$$t = \frac{l}{v_0} = \frac{l(M + m)}{mv}$$

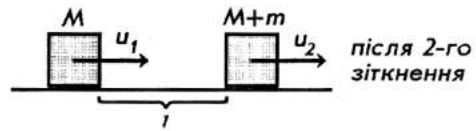


Рис. 2.

Щоб визначити швидкість шайб (рис. 2) після зіткнення, запишемо закони збереження імпульсу й енергії:

$$\begin{cases} Mv + (M + m) \frac{Mv}{M + m} = Mu_1 + (M + m)u_2 \\ \frac{Mv^2}{2} + \frac{M^2v^2}{2(M + m)^2} = \frac{Mu_1^2}{2} + \frac{(M + m)u_2^2}{2} \end{cases}$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримаємо швидкості тіл після зіткнення:

$$u_1 = \frac{2M - m}{2M + m}v, \quad u_2 = \frac{2Mv}{2M + m}$$

Розв'язки інших задач наведемо в наступному номері.

Чи знаєте Ви що...

(Дж.Дж.Томсон про Генрі Кавендиша)

“Він завжди робив те, що робив раніше”. Протягом всього свого життя він виходив на прогулянку в один і той же час дня. Вирішивши звести до нуля ймовірність зустрічі з ким-небудь із знайомих лондонців, він звик ходити тільки посередині дороги. Ухилятися від конячих морд було легше, ніж від людського марнослів'я. Самітник і мовчун, він і з своїм управителем дому ніколи не розмовляв, надавав перевагу коротким запискам. Було відомо, що він не любив жінок, і служниці в будинку Кавендишів боялись потрапляти йому на очі, інакше могли б залишитись без роботи. Один раз на рік до нього приходив кравець. Мовчки знімав мірку і зникав. Ніяких питань про тканину і форму нового костюму: він повинен був бути копією попереднього з необхідною поправкою на природні зміни параметрів господаря. Так був ліквідований ще один привід для непотрібних роздумів і відволікання на балаканину.

Коли йому було двадцять дев'ять років, його обрали членом Королівського товариства. Через десять років випадок чи справи привели його на обід в академічний клуб. Ці обіди проходили по четвергах і починалися о п'ятій годині вечора. З того дня і до кінця життя, протягом сорока років, кожного четверга рівно о п'ятій годині Кавендиш приходив на обід Королівського товариства. 1774 рік починався з четверга і закінчувався п'ятницею. Тому в 1774 р. Генрі Кавендиш пообідав з колегами не п'ятдесят два рази, як завжди, а п'ятдесят три. Та тільки небагато із членів клубу знали, як звучить його голос. Він говорив лише тоді, коли міг повідомити щось значне. За сорок років його капелюх ні разу не змінив свого місця на полиці в клубному гардеробі.

Він був втіленням зосередженості. І це робило його в очах сучасників невиправним диваком. Але це ж і зробило його дослідником величезного розмаху.

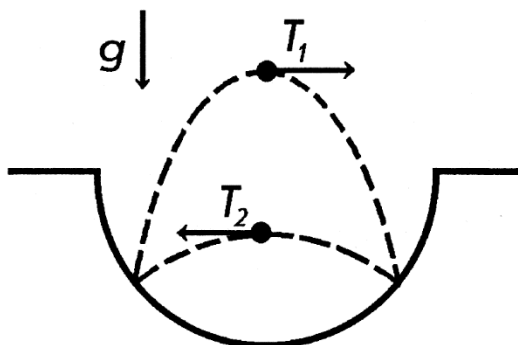


До Вашої уваги — рубрика "Конкурс журналу". Ми пропонуємо задачі з фізики складні і не дуже, логічні і задачі, які не мають однозначних розв'язків, задачі з гумором. Просимо надсилати нам розв'язки. Це буде наше заочне спілкування з Вами. Розглядатимемо всі Ваші міркування (розв'язки, написані від руки, на друкарській машинці чи комп'ютері). Переможців, активних учасників конкурсу чекають приємні несподіванки-призи: від передплати нашого журналу на рік, цінних подарунків до запрошення на вступ у Львівський фізико-математичний лицей та фізичний факультет Львівського університету ім. І.Франка.

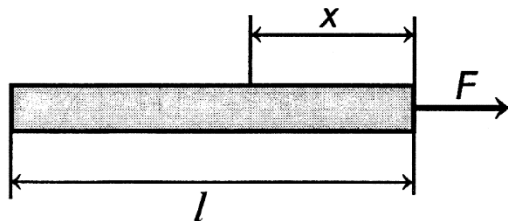
Шановні учні шкіл, лицейів, коледжів, ми пропонуємо поспілкуватися заочно з поважними доцентами, професорами, академіками різних наукових закладів України.

Чекаємо на відповіді за адресою: (0322) 290054, м.Львів, вул. Караджича, 29, редакція журналу "Світ фізики".

1. В сферичній лунці скаче кулька, пружньо вдаряючись в її стінки у двох точках, розміщених на одній горизонталі. Проміжок часу між ударами при русі кульки зліва направо завжди рівний T_1 , а при русі справа наліво — $T_2 = T_1$. Визначте радіус лунки.

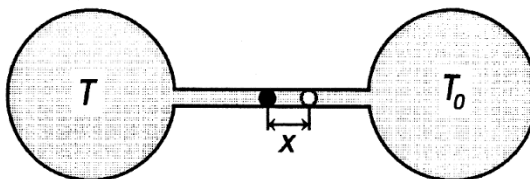


2. Яка сила діє в поперечному перерізі однорідного стержня довжини l на відстані x від того кінця, до якого вздовж стержня прикладена сила F ?



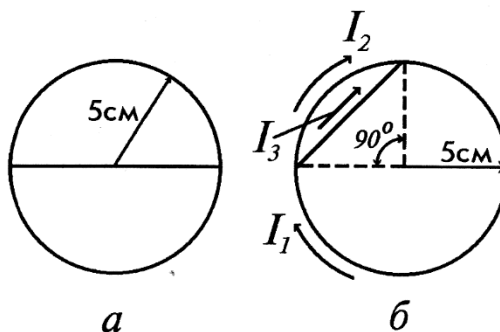
3. Газовий термометр складається з двох однакових посудин об'ємом V_0 кожна, з'єднані трубкою довжини l і перерізом S . Трубку перекриває крапля ртуті. Посудини наповнені газом. Якщо температура газу в

обох посудинах однакова, ртуть знаходиться посередині трубки. Одну посудину поміщують в термос з температурою T_0 . Проградуйте термометр, знайшовши залежність температури газу в другій посудині від зміщення ртуті від положення рівноваги.



4. В розрідженому газі з постійною швидкістю v рухається куля радіуса r . Число молекул в одиниці об'єму газу n , маса молекули m , теплові швидкості молекул значно менші від швидкості кулі. Оцініть силу опору, яка діє на кулю.

5. На рисунку зображені плоскі фігури, зроблені з дроту, опір одиниці довжини якого дорівнює 1 Ом. Визначте в них струм, якщо фігури поміщені в однорідне магнітне поле, яке змінюється з часом. Швидкість зміни магнітного потоку через одиницю площі $0,1 \text{ Вб}/(\text{m}^2\text{c})$.



“Журнал фізичних досліджень”

Засновниками є Львівський державний університет і Західноукраїнське фізичне товариство.

Статті друкуються українською або англійською мовами.

Адреса редакції: Україна, UA-290005, Львів-5, вул. Драгоманова, 12,
“Журнал фізичних досліджень”

Я.Довгий “Лазери. Фізичні основи. Лабораторний практикум”.**Навчальний посібник для студентів вищої школи**

Книга розрахована на студентів фізичних і радіотехнічних спеціальностей вузів, а також може бути корисною інженерам, технікам і викладачам фізики, які використовують у своїй роботі лазерні прилади.

Науково-видавниче товариство “Академічний експрес” пропонує:

В.Люха и Ф.Шёберл “Сильное взаимодействие. Теория потенциальных моделей”

Книга науковців Інституту фізики високих енергій Академії наук Австрії. Розрахована не тільки на фізиків-теоретиків, але й експериментаторів, що працюють в області фізики високих енергій і в ядерній фізиці, а також студентів цих напрямків.

(Переклад з німецької на російську мову).

Б.Філберт “Світи перед Богом”

Відомий німецький фізик та винахідник Бернгард Філберт накреслює свої погляди на вічне християнське вчення, які ґрунтуються на новітніх наукових досягненнях. Нові тлумачення були необхідні завжди, але вони приносили також нові теологічні кризи: від Томи Аквінського, Джордано Бруно, Галілео Галілея до нашого часу. Подолання цих криз потребувало іноді століть. Водночас ці драматичні битви вели до кращого розуміння істини.

Книга містить унікальні кольорові фотографії зоряного неба, виконані д-ром Д.Мейліном на 4-х метровому дзеркальному телескопі в Австралії.

Видана німецькою, англійською, українською та російською мовами.

Орест Попович “Партії та розповіді шахіста з Америки”

Книга містить 130 вибраних партій автора, шахового майстра і неодноразового чемпіона українців Америки. Серед них — поєдинки з геніальним Робертом Фішером та іншими видатними шахістами. Сорок три партії цього збірника прокоментовані міжнародним гросмайстром Адріаном Михальчишином.

Видана українською мовою.

Журнал Шах-експрес “Каїса”

Виданий вперше в Україні, засновниками є Львівський шаховий клуб, Львівська шахова федерація та видавництво “Академічний експрес”

Видається українською мовою.

Замовлення надсилати за адресою: Україна, 290070, Львів-70, а/с 7366.

Тел.+факс (0322) 21 35 98. Інтернет ae@ae.lviv.ua

З приємністю повідомляємо, що на теренах рідного краю започатковано діяльність Фонду імені професора Олександра Смакули.

Фонд прагне об'єднати зусилля науково-технічної інтелігенції з метою пошуку й розповсюдження наукової спадщини та увіковічнення пам'яті Олександра Смакули, інших українських вчених — вихідців з Тернопільщини.

Запрошуємо до співпраці і будемо вдячні за надану допомогу.



Олександр Смакула (9.09.1900 - 17.05.1983), уродженець с. Доброводи Збарзького району на Тернопільщині — всесвітньо відомий фізик, дійсний член Наукового товариства ім. Т.Шевченка, член Оптичного товариства Америки, почесний член Товариства українських інженерів, повний професор Массачусетського технологічного інституту.

Професор О.Смакула репрезентує сучасну твердотільну електроніку. Здобувши фундаментальну підготовку Гетингенської наукової школи, у 30-х роках він зробив низку відкриттів та винаходів (формула Смакули, просвітлення оптики, основа відкриття вітамінів A_1 , B_2 та D), у 60-80-х роках у Массачусетському технологічному інституті

(США) заснував наукову школу в галузі технології кристалів для напівпровідникової електроніки та оптики. У 1962 р. в Німеччині вийшла монографія О.Смакули "Монокристали: вирощування, виготовлення і застосування". Він був одним із тих, хто запровадив новий стиль у науці — коли у дослідженнях тісно співпрацюють експериментатори, теоретики і технологи.

Донедавна ім'я Смакули можна було знайти тільки у зарубіжних енциклопедіях, монографіях, вузівських посібниках. Становлення незалежної демократичної України дало змогу повернути ім'я її талановитого сина на Батьківщину. У 1992 р. у Львові під егідою Наукового Товариства ім. Т.Шевченка відбувся 1-й міжнародний Смакуловий симпозіум, а в 1995 р. у Тернополі в рамках міжнародної світлотехнічної конференції працювала секція, присвячена внеску професора О.Смакули у світову фізичну науку. Під час цієї конференції у селі Доброводи Збарзького району відкрито меморіальну дошку на честь ученого.

Тернопільська земля, вся Україна пишається своїм видатним земляком, ученим і патріотом, професором Олександром Смакулою. Його наукові здобутки, цілком актуальні й сучасні, мають бути відомі не лише спеціалістам, але й широкому загалу нашої інтелігенції.



“НА МІСЯЦІ”

К. Ціолковський

ПРОКИДАЮСЯ В НОВОМУ НЕЗНАЙОМОМУ СВІТІ

Я прокинувся і, лежачи ще в ліжку, роздумував над сном, який тільки що бачив: бачив, як я купався. Оскільки ж була зима, то мені здалося особливо приємним помріяти про літнє купання. Час вставати!

Потягуюся, підводжуся... Як легко! Легко сидіти, легко стояти. Що це? Чи ж не продовжується сон? Я відчуваю, що стою особливо легко, немов би занурений по шию у воду: ноги ледь торкаються підлоги. Але ж де вода? Не бачу. Махаю руками: не відчуваю ніякого опору. Чи ж не сплю я? Протираю очі — усе те ж. Дивно!... Проте треба ж одягнутися. Пересуваю стільці, відкриваю шафи, дістаю одяг, піднімаю різні речі і — нічого не розумію! Хіба збільшилися мої сили? Чому все стало таким легким? Чому я піднімаю такі предмети, які раніше і зрушити не міг? Ні! Це не мої руки, не мої ноги, не моє тіло! Ті такі важкі-важкі і роблять усе з великими труднощами. Звідки міць у руках і ногах? Що ж трапилося — збільшилася лише наша сила чи зменшилася вага?

І те, й інше припущення були однаково дивовижні, але немає такої речі, на яку б людина, звикнувши до неї, не стала б дивитися спокійно. До цього ми ще не дійшли з моїм товаришем, але у нас уже з'явилось бажання з'ясувати причину. Мій товариш, звиклий до аналізу, швидко знайшовся серед маси явищ, що приголомшили і заплутали мій розум.

— За силоміром, чи пружинною вагою, — сказав він, — ми

можемо виміряти нашу мускульну силу і дізнатися збільшилась вона чи ні. Ось я впираюся ногами до стіни і тягну за нижній гак силоміра. Бачиш: п'ять пудів: моя сила не збільшилася. Ти можеш зробити те ж і переконатися, що ти не став багатирем на зразок Іллі Муромця.

— Важко з тобою погодитися, — заперечив я, — факти суперечать. Поясни, яким чином піднімаю я край цієї книжкової шафи, у якій не менше п'ятдесяти пудів? Спочатку я уявив собі, що вона порожня, але, відчинивши її, побачив, що жодна книга не пропала. Поясни, до речі, і стрибок на п'ятиаршинну висоту.

— Ти піднімаєш великі вантажі, стрибаєш високо і почуваш себе легко не тому, що у тебе сили стало більше — це припущення вже спростовано силоміром, — а тому, що вага зменшилася, у чому можеш переконатися за допомогою тієї ж пружинної ваги. Ми навіть дізнаємося, у скільки саме разів вона зменшилась...

З цими словами він підняв першу ліпшу гирю, що виявилась дванадцятифунтовиком, і підвісив її до динамометра (силоміра).

— Дивися! — продовжував він, глянувши на покази ваги. — Дванадцятифунтова гиря важить два фунти. Отже, вага зменшилась у шість разів. — Подумавши, він додав:

— Точно таке ж саме тягіння є і на поверхні Місяця, що зумовлено малим його об'ємом малою густиною речовини.

— Чи ж не на Місяці ми? — зареготав я.

— Якщо і на Місяці, — сміявся фізик, вдаючись до жартівливого тону, — то біда у цьому невелика, оскільки таке диво, якщо воно можливе, може повторитися у зворотньому порядку, тобто ми знову повернемося додому.

— Стий: досить каламбурити. А що, як зважити якийсь предмет на звичайних важільних терезах! Чи помітним буде зменшення ваги?

— Ні, тому що вага зважуваного предмета зменшиться у стільки ж разів, у скільки і гиря, покладеної на іншу шальку ваги; так що рівновага не порушується, незважаючи на зміну ваги.

— Так, розумію!

Однак я все-таки пробую зламати палицю — у надії виявити збільшення сили, що мені, зрештою, не вдається, хоч палиця не товста і вчора ще тріщала у мене в руках.

— О, тепер удвох!... Кинь! — сказав мій товариш-фізик. — Подумай ліпше про те, що тепер, ймовірно, весь світ схвильований змінами... — Відсмикнув фіранку (вона була спущена на ніч від місячного світла, що заважало спати), щоб перемовитися із сусідом, але одразу квапливо відскочив. О жах! Небо було чорніше від найчорнішого чорнила!

Де ж місто? Де люди?

Це якась дика, неймовірна, яскраво освітлена сонцем місцевість!

Чи не перенеслися ми насправді на якусь пустельну планету? Усе це я тільки подумав — сказати ж нічого не міг і тільки безладно “мукав”. Приятель кинувся, було, до мене, вважаючи,



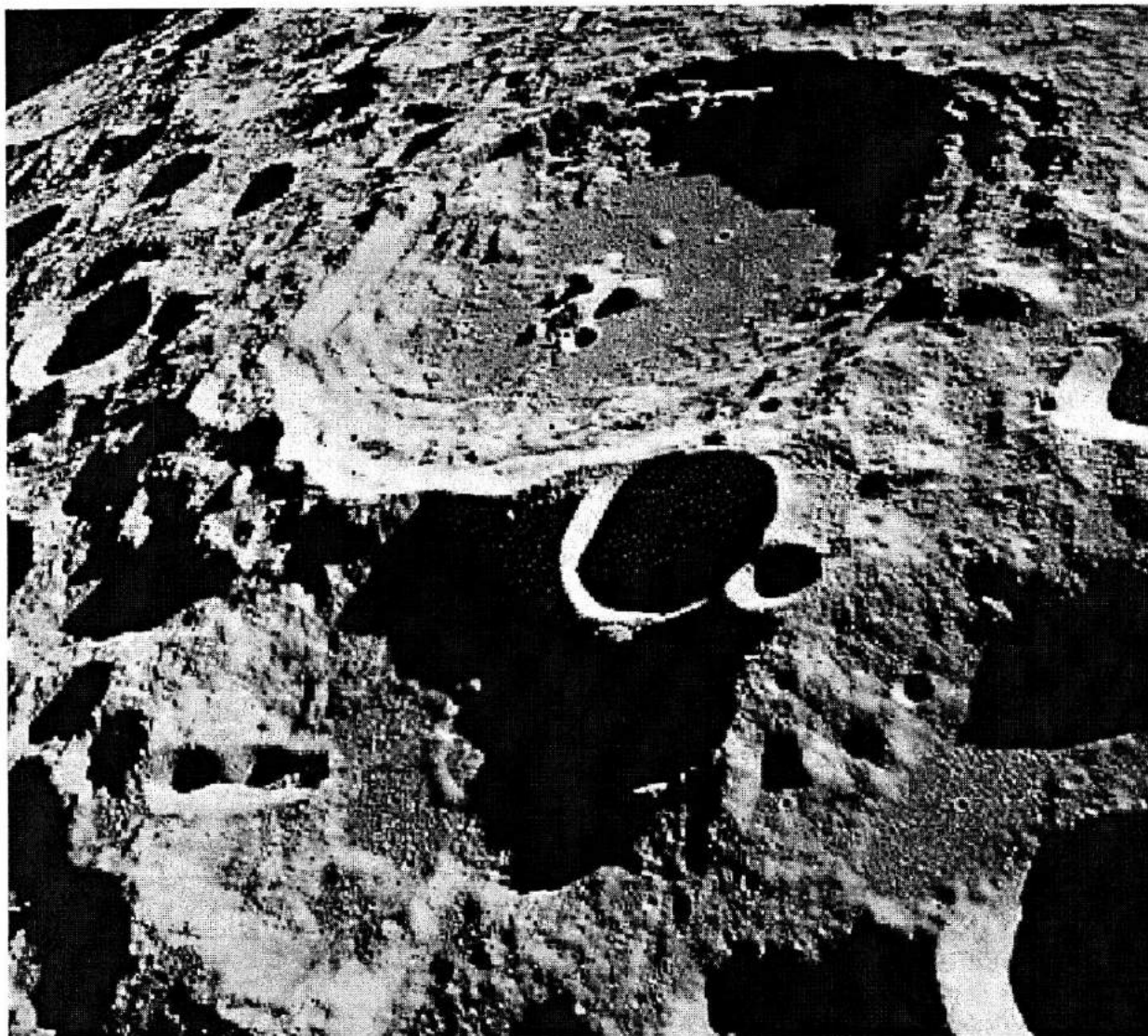
що мені погано, але я показав йому на вікно, він глянув туди і теж онімів.

Якщо ми не знепритомніли, то лише завдяки малій вазі, що перешкоджала надмірному приливу крові до серця. Ми озирнулися. Вікна були, як і раніше, завішені; того, що нас вражало, не було перед очима; звичайний же вигляд кімнати і добре знайомих предметів у ній ще більше нас заспокоїв. Притулившись ще з деякою нерішучістю один до одного, ми спочатку підняли лише край фіранки, потім їх усі і, нарешті, зважились вийти з дому для спостереження траурного неба околиць.

Незважаючи на те, що думки наші були поглинуті майбутньою прогулянкою, ми ще дещо і зауважували. Зокрема, коли ми йшли по великих і високих кімнатах, нам доводилося діяти своїми грубими мускулами вкрай обережно — в іншому випадку підшва ковзала по підлозі марно, що, однак, не загрожувало падінням, як це було б на мокрому снігу чи на земному льоді, тіло при цьому значно підскакувало. Коли ми хотіли відразу швидко горизонтально рухатися, то у перший момент треба було сильно нахилитися вперед, так як кінь нахиляється, коли його змушують зрушити

воза з непосильним вантажем; але це лише так здавалося: насправді всі рухи наші були вкрай легкі... Спускатися зі сходинки на сходинку — як це сумно! Рух кроком — як це повільно! Скоро ми облишили всі ці церемонії, придатні для Землі і смішні тут. Рухатися навчилися вскач; спускатися і підніматися стали через десять і більше сходинок, як найвідчайдушніші школярі; а то деколи стрибали через усі сходи чи з вікна. Одним словом, сила обставин змусила нас перетворитися у стрибаючих тварин, на зразок цвіркунів і жаб.

Отже, побігавши по будинку,





ми вистрибнули назовні і побігли вскач у напрямку однієї з найближчих гір. Сонце було сліпучим і здавалося синюватим. Закривши очі руками від Сонця і блукаючи від відбитого світла околиць, можна було бачити зірки, планети, також здебільшого синюваті. Ні ті, ні інші не мерехтіли, що робило їх схожими на вбиті у чорний небосхил цвяхи із срібними голівками.

А ось і Місяць — остання чверть! Ну, він не міг нас не здивувати, оскільки поперечник його здавався разів у три чи чотири більшим, ніж діаметр раніше баченого нами. Та і блищав він яскравіше, ніж удень на Землі, коли він з'являється як біла хмарка... Тиша... Ясна погода... Безхмарне небо... Не видно ні рослин, ні тварин... Пустеля з чорним одноманітним небосхилом з синім Сонцем-мерцем. Ні озера, ні річки і ні краплі води! Хоч би обрй білів — це вказувало б на наявність парів, але він такий же чорний, як і zenit.

Ні вітру, який шелестить травою і хитає на Землі верхів'я дерев... Не чути сюрчання коників... Не помітно ні птахів, ні різнокольорових метеликів! Лише гори і гори, страшні, високі гори, шпилі яких, проте, не блищать від снігу. Ніде ні однієї сніжинки! Ось долини, рівнини, плоскогір'я... Скільки там навалено каміння... Чорне і біле, велике і маленьке, але усе гостре, блискуче, не зм'якшене хвилею, якої ніколи тут не було, яка не грала з ним веселим шумом, не трудилася над ним!

А ось місце зовсім гладеньке, хоч і хвилясте: не видно жодного камінчика, тільки чорні тріщини розлазяться в усі боки, як змії... Твердий ґрунт — кам'яний... Нема м'якого чорнозему; нема ні піску, ні глини. Похмура

картина! Навіть гори оголені, безсоромно роздягнені, оскільки ми не бачимо на них легкої вуалі — прозорого синюватого серпанку, який накидає на земні гори і віддалені предмети повітря... Суворі, на диво виразні ландшафти! А тіні! О, які там тіні! І які різкі переходи від мороку до світла! Нема тих м'яких переливів, до яких ми так звикли і які може дати лише атмосфера. Навіть Сахара — і та здалася б раєм порівняно з тим, що ми бачимо тут. Ми жалкували за її скорпіонами, за саранчею, за розпеченим піском, що його здіймає сухий вітер, не кажучи вже про скупі рослинність, що зрідка трапляється, і фінікові гаї... Потрібно було думати про повернення. Ґрунт був холодним і дихав холодом, так що ноги мерзли, але Сонце припікало. Взагалі, було неприємне відчуття холоду. Це було схоже на те, коли людина, що змерзла, гріється перед палаючим каміном і не може зігрітися, бо у кімнаті занадто холодно: по її шкірі пробігають приємні струмені тепла, що не можуть перемогти остуди.

На зворотному шляху ми зігріваємося, перестрибуючи з легкістю двосажневі камінні купи... То були граніти, порфіри, сієніти, гірський кришталь, різний прозорий і непрозорий кварц та кремнезему — усі вулканічні породи. Потім, однак, ми помітили сліди вулканічної діяльності.

Ось ми і вдома! У кімнаті почуваєш себе добре: температура рівномірніша. Це схилило нас розпочати нові досліді й обговорити все нами бачене і помічене. Зрозуміло, що ми були на якійсь іншій планеті. На ній немає повітря, немає і ніякої іншої атмосфери.

Якщо би був газ, то мерехті-

ли б зірки; якщо було б повітря, небо було б синім і був би серпанок на віддалених горах. Але яким чином ми дихаємо і чуємо один одного? Цього ми не розуміли. З численних явищ можна було зробити висновок, що нема повітря і будь-якого газу: нам не вдалося закурити сигарету, і згорячу ми зіпсували тут силу-силенну сірників; каучуковий закритий і непроникний мішок стискався без найменшого зусилля, чого б не було, якби всередині був якийсь газ.

— Чи не на Місяці ми?

— Ти помітив, що звідси Сонце не здається ні більшим, ні меншим, ніж із Землі? Таке явище можна спостерігати лише із Землі та її супутника...

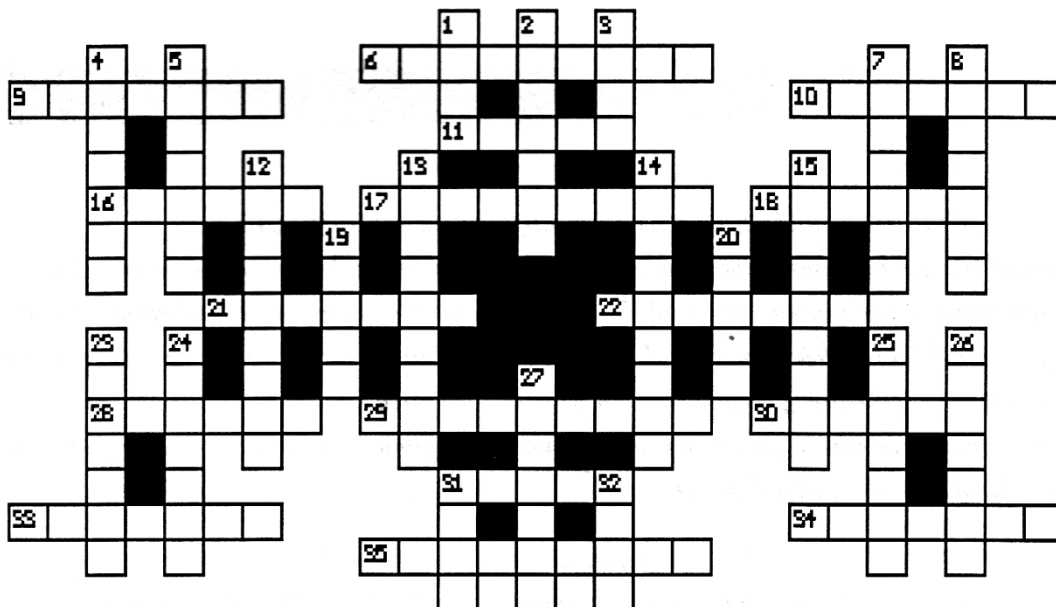
— Так, ми на Місяці: усе свідчить про це!

— Свічить про це навіть розмір Місяця, який ми бачили у вигляді хмари і який є, очевидно, покинута нами не зі своєї волі планета. Жаль, що ми не можемо роздивитися тепер її плями, портрет і остаточно визначити місце свого перебування, незважаючи на те, що маємо для цього повну можливість завдяки запасу кутомірних та інших вимірювальних засобів. Дочекаємося ночі.

— Як же ти говориш, — зауважив я своєму товаришеві, — що Земля і Місяць є на однаковій відстані від Сонця? А по-моєму, це різниця досить суттєва! Адже вона, наскільки мені відомо, дорівнює трьомстам шістдесяти тисячам верст.

— Я кажу майже, оскільки ці триста шістдесят тисяч становлять лише одну чотирьохсоту частину всієї відстані від Сонця, — заперечив фізик. — Однією чотирьохсоткою можна знехтувати.

(Далі буде)



По горизонталі:

6. Функція стану термодинамічної системи. 9. Нідерландський фізик-теоретик. 10. Важкі елементарні частинки. 11. Підсилювач електромагнітних хвиль. 16. Лантаноїд. 17. Спотворення зображень, які утворюються оптичними системами. 18. Проміжок часу. 21. Нейтральна елементарна частинка. 22. Впорядкована система атомів (іонів). 28. Ізотоп водню. 29. Розрідження газу до тиску 10 мм. рт. ст. 30. Поляризаційна призма. 31. Хладон. 33. Лінія на термодинамічній діаграмі стану, яка зображує процес при сталому об'ємі. 34. Перехідний хімічний елемент. 35. Зміна напрямку поширення і розмірів пучка світла при взаємодії його з речовиною.

По вертикалі:

1. Найменший носій хімічних властивостей простої речовини. 2. Квант плазмових коливань. 3. Величина, яка характеризує протидію електричному струму. 4. Тіло, що здійснює коливання. 5. Обмінна енергія. 7. Лінія, вздовж якої відбувається поширення хвиль. 8. Те, що зменшується при збільшенні ентропії. 9. Залежність оптичних характеристик речовини від частоти світла. 13. Прискорювач заряджених частинок. 14. Область швидкостей руху, значно більших від швидкості звуку. 15. Викривлення променя світла у середовищі з неперервно змінним показником заломлення. 19. Частина електродвигуна. 20. Одиниця вимірювання магнітної індукції. 23. Тіло, що обертається навколо осі. 24. Інертний газ. 25. Котушка індуктивності з магнітним осердям. 26. Характеристика, що показує, яку частину падаючої променистої енергії відбиває поверхня тіла. 27. Одна з фундаментальних філософських та фізичних категорій. 31. Величина, яка задає миттєві значення змінних параметрів коливальної системи. 32. 10^{-9} .

(Кросворд склав Тарас Пацаган)



Рекомендації для читачів наукових публікацій

Шановні читачі! Наукові статті, які ви можете прочитати на сторінках наукових журналів як правило складаються із наступних розділів: вступ, опис експериментальної методики, виклад отриманих результатів і їх обговорення, висновки. В кожному з цих розділів часто зустрічаються загальноновживані вислови, дійсний зміст яких ми хочемо вам пояснити на прикладі останніх публікацій у двох авторитетних фізичних журналах "Вакуумна акустика" і "Радіаційна термодинаміка". Пояснення подаємо в дужках.

Вступ

"Відомо, що..." (я не зміг знайти посилання на роботу, в якій про це було б сказано вперше).

"Очевидно..." (я це не перевіряв, але сподіваюсь, що саме так).

"Має значне теоретичне і практичне значення..." (Конкретні практичні і теоретичні застосування цієї проблеми мені не відомі, але двох моїх знайомих вони зацікавили).

Опис експериментальної методики

"При створенні нового прототипу установки ми розраховували отримати наступні її характеристики..." (Такі характеристики отримано випадково, коли установка нарешті запрацювала).

"Було досліджено сплав ВС, оскільки саме для нього очікуваний ефект повинен бути достатньо виражений..." (Іншого сплаву у нас взагалі не було, але на даному зразку ефект проявляється).

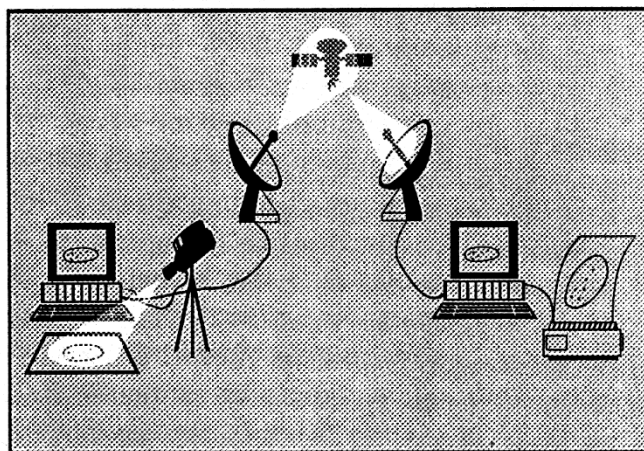
"Для детального дослідження ми вибрали три зразки..." (Результати отримані на двадцяти зразках були взаємно суперечливі, тому доводиться розглядати тільки три зразки).

Отримані результати і їх обговорення

"Типові результати приведені на рис..." (Приведені найкращі результати).

"Якщо прийняти до уваги наближення зроблені при аналізі теорії даного явища, можна стверджувати, що спостерігається задовільне узгодження теоретичних і експериментальних результатів..." (узгодження взагалі відсутнє, але дану теорію я розумію і мені хочеться, щоб вона була теоретичною базою моїх експериментів).

"Наше дослідження показало перспективність даного підходу..." (Жодних вагомих результатів ми не отримали, але плануємо продовжити дослідження і хочемо отримати фінансування).



ЗАМОВЛЯЙТЕ ПІЦЦУ ЦІЛОДОБОВО В БУДЬ-ЯКУ
ЧАСТИНУ СВІТУ ЧЕРЕЗ ІНТЕРНЕТ!

Львівський державний університет ім. Івана Франка

З початку заснування Львівського університету пройшло понад триста років. 20 січня 1661 р. король Ян Казимир підписав диплом, який надавав Львівській єзуїтській колегії "гідність академії і титул університету" з правом викладання всіх тогочасних університетських дисциплін та присудження вчених ступенів. Ця дата стала першою сторінкою тривалої і багатой подіями історії Львівського університету.

Фізичні дослідження у Львівському університеті почали проводити в 1869 р., коли на філософському факультеті було створено кафедру математичної фізики. Вона розширилась в 1872 р. після створення фізичного відділу, у якому були дві кафедри — теоретичної та експериментальної фізики. На початку ХХ ст. світову славу Львівському університетові принесли М.Смолуховський працями з теорії броунівського руху і теорії розчинів, С.Лорія вивченням спектрів поглинання та дисперсії світла парами металів, розподілу енергії в емісійних спектрах та дифракції електронів.

У 1944 р. кафедри відновлюють свою роботу в складі фізико-математичного факультету. З ініціативи відомого вченого Василя Міліянчука розпочалося вивчення теорії атомних спектрів, розширилися й експериментальні дослідження з атомної спектроскопії.

Фізичний факультет в університеті створений у 1953 р. внаслідок поділу фізико-математичного факультету. Цього ж року студентами-фізиками склали 75 абітурієнтів. Тоді факультет складався з чотирьох кафедр: експериментальної фізики, теоретичної фізики, загальної фізики та вищої математики.

Початок систематичних комплексних досліджень в області фізики твердого тіла на факультеті припадає на другу половину 50-х років. Логічним результатом цього було створення кафедри фізики твердого тіла, яка виділилась з кафедри експериментальної фізики.

За 1957 - 1971 рр. фізичний факультет значно розширився і зміцнів. З'явилися нові напрямки досліджень, зокрема в області фізики напівпровідників і фізики рідких металів. Створені науково-дослідні лабораторії з проблемною тематикою та сучасним науковим обладнанням, зріс науковий кадровий потенціал. Це стало передумовою для створення нових кафедр.

У 1963 р. з кафедри фізики твердого тіла виділилась кафедра рентгенометалофізики, а в 1964 р. утворилися кафедри теоретичних основ електрорадіотехніки, фізики напівпровідників, теорії твердого тіла. У 60-х роках на факультеті сформували три спеціальності — фізика, радіофізика й електроніка, оптичні прилади та спектроскопія.

Кафедра теоретичної фізики є однією з найстаріших кафедр природничого профілю у Львівському університеті. Вона була заснована у 1869 р. під назвою кафедри математичної фізики при філософському факультеті. У різні роки на кафедрі працювали такі відомі вчені як М.Смолуховський, К.Закжевський, С.Лорія, Л.Інфельд, С.Щеньовський, В.Рубінович, З.Храпливий, В.Кучер, В.Міліянчук, С.Каплан, А.Глауберман, І.Юхновський.

У галузі теоретичної фізики на факультеті під керівництвом І.Юхновського протягом 60-70-х років сформувалася школа статистичної фізики. Успіхи в цьому напрямку спричинилися до організації Львівського відділу статистичної теорії конденсованого стану Інституту теоретичної фізики АН України (1969), згодом відділення, а з 1990 р. Інституту фізики конденсованого стану НАН України.

Кафедра радіоелектронного матеріалознавства заснована у 1977 р. на базі фізичного та хімічного факультетів і Львівського науково-дослідного Інституту матеріалів для цілеспрямованої підготовки спеціалістів з матеріалознавства електронної техніки. Кафедра такого профілю є єдиною в Україні.

Розпочаті на кафедрі експериментальної фізики дослідження з нелінійної та параметричної кристалооптики привели до відкриття явища електросірації і утворення кафедри нелінійної оптики у 1979 р.

Завдяки значному доробкові факультету в науково-дослідній роботі в 1991 р. при університеті утворено Інститут прикладної фізики, в якому під керівництвом проф. В.Савицького виконуються важливі фізичні дослідження з пріоритетних за тематикою напрямків. У підпорядкуванні Міністерства освіти України у Львові в 1992 р. відкрито Інститут фізичної оптики, який очолив проф. О.Влох.

Успішно досліджуються твердотільні матеріали в лабораторіях відділу низьких температур.

В 1996 році на факультеті відкрито дев'яту кафедру — астрофізики.



*Колектив викладачів фізичного факультету
Львівського державного університету*

березень 1995