

С В І Т

ФІЗИКИ

№3
2014

науково-популярний журнал

2014 – Міжнародний рік
кристалографії

Вся наша гідність – у здатності мислити.
Тільки думка підносить нас,
а не простір і час, в яких ми ніщо.

Блез Паскаль

НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ NANO-2014



У Львівському національному університеті імені Івана Франка 27–30 серпня 2014 року відбулася II-а Міжнародна науково-практична конференція “Нанотехнології та наноматеріали” (NANO-2014) у межах виконання проекту “Нанотвінінг” Сьомої Рамкової Програми.

Організаторами конференції були Інститут Фізики НАН України спільно з Тартуським університетом (Естонія), компанією European Profiles A. E. (Греція), Туринським університетом (Італія), Університетом П'єра і Марії Кюрі (Франція) та Львівським національним університетом імені Івана Франка.

Понад 350 провідних науковців і фахівців із нанотехнологій з понад 20 країн світу (Україна, Польща, Німеччина, Франція, Італія, Велика Британія, Австрія, Туреччина, Іран та ін.) поділилися своїми знаннями та досягненнями в галузі нанонауки і нанотехнологій.



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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопя

Редакційна колегія:

Ігор Анісімов

Михайло Бродин

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Олег Орлянський

Максим Стріха

Юрій Ранюк

Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**
Літературний редактор **Мирослава Прихода**

Комп'ютерне макетування та друк
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:

Редакція журналу "Світ фізики"

вул. Саксаганського, 1,
м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

phworld@franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Нобелівський комітет Королівської шведської академії наук у Стокгольмі оголосив про те, що Нобелівську премія з фізики за 2014 рік отримали японські фізики Ісаму Акасакі (Isamu Akasaki), Хіросі Аmano (Hiroshi Amano) та американський фізик Сюдзі Накамура (Shuji Nakamura) "за винайдення ефективних синіх світлодіодів – нового енергозберігаючого екологічного джерела світла".

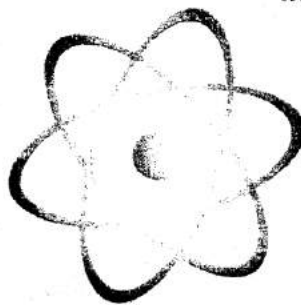
"Дослідники винайшли нове енергозберігальне і екологічне джерело енергії – синій світлодіод. Він відкриває нові можливості отримати біле світло, що є стійкішою і ефективнішою альтернативою старого джерела світла", – зазначає комітет.

Усі фізики народилися в Японії.

Ісаму Акасакі нині працює професором Університету Мейдзю і почесним професором Нагойського університету. Хіросі Аmano – професор університету Нагоя. Сюдзі Накамура працює в Каліфорнійському університеті в Санта-Барбарі. Він є громадянином США.

"В умовах, коли майже чверть усієї світової електроенергії витрачають на освітлення, світлодіоди сприяють економії ресурсів Землі", – зазначив Нобелівський комітет у Стокгольмі.

*Не забудьте
передплатити журнал
"Світ фізики"*



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП "Євросвіт"

ЗМІСТ

1. Нові та маловідомі явища з фізики

Романюк М. О. Кристали та деякі їхні застосування
Апуневич С., Білінський А., Благодир Я., Вовчик Є., Вірун Н., Мартинюк-Лотоцький К. Лазерна локація штучних супутників Землі. 50 років поступу

3

2. Інформація

Нанотехнології та наноматеріали в Україні та світі (NANO-2014)

13

3. Олімпіади, турніри...

Орлянський Олег. Центр мас і додавання швидкостей у задачах на закони збереження енергії та імпульсу
Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (Суми, 2014)

16

18

4. Фізика в житті

Нестор М. І. Закони фізики у живій природі

24

5. Реальність і фантастика

Шингельський М. Музей науки і техніки у Львові у перспективі

36

6. Фізика України

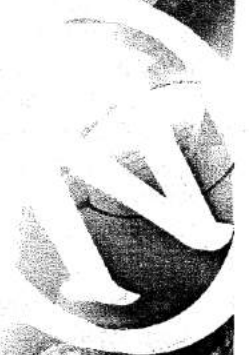
Шопа Галина. Талановитий фізик і справжній патріот України (Орест Григорович Влох)

41

7. Гумор

43

46





Кристали та деякі їхні застосування

Микола Олексійович Романюк,

професор Львівського національного університету імені Івана Франка

Відомі стани речовини – плазма і гази – характеризуються слабкою взаємодією між частинками, великою їхньою рухливістю, малою густиною та відсутністю власної форми. У рідинах і твердих тілах взаємодія між частинками значна, а густина на кілька порядків вища, ніж у газах. Рідини мають високу рухливість, не мають власної форми, їхні частинки рухаються хаотично. Під час охолодження гази переходять у рідкий або й твердий стан, рідини – у твердий стан, у якому ця хаотичність загалом зберігається (“заморожується”) і тоді йдеться про склоподібний або аморфний стан. Якщо рідина має великі лінійні або пласкі молекули, то під час охолодження у певному діапазоні температур вони частково упорядковуються. Маємо рідкий кристал. З подальшим його охолодженням він твердне, але повне впорядкування не настає.

Під час охолодження газу можуть утворюватись складні фігури, відомі як скелетні форми. Наприклад, сніжинки, утворені з водяної пари.

Якщо у твердому тілі частинки розташовані впорядковано, то йдеться про кристал. Поняття “ріст кристалів” – це таке охолодження відповідної рідини, за якого йде впорядкування частинок. Останнім часом отримують впорядковані тонкоплівкові структури з газової фази. Складні впорядковані структури отримують на базі вуглецю.

Поряд зі структурами, які зустрічаються у природі, велику увагу приділяють тримірним надструктурам – матеріалам з парамет-

рами, значно відмінними від природних: фотонні кристали, метаматеріали з від’ємними електричною та магнетною проникностями

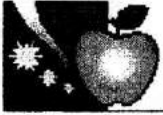
$$\epsilon\mu = (-\epsilon)(-\mu) = n^2 = (-n)^2$$

або обмеженими у розмірності: плівки, трубки, нитки, точки. Класичною одновимірною надструктурою є дифракційна ґратка.

Формально кристал – тверде тіло, обмежене пласкими гранями, які утворюють між собою певні кути і перетинаються по прямих лініях. Такі тіла є природними утвореннями, вони мають різноманітні розміри – від метрових до мікроскопічних. Сьогодні у лабораторних й заводських умовах вирощують кристали багатьох сполук різноманітних розмірів та зовнішніх форм. Кристали з огранкою отримують з розчину, коли можна забезпечити постійність температури в усьому об’ємі розчиненої речовини та відсутність механічних обмежень на кристал, який росте. Із ростом з розплаву на форму кристала впливають стінки кристалізатора та нерівномірний, переважно радіальний, розподіл температури у ньому. Внутрішня будова кристалів цієї речовини, очевидно, не залежить від зовнішньої форми, вона визначається закономірностями впорядкування їхніх частинок.

Найзагальнішим законом впорядкованого розташування частинок у просторі є трансляції, які визначають розміри і форму елементарної комірки, як “цеглинки”, якими заповнений увесь об’єм кристалу:

$$\vec{T} = n_1\vec{a}_1 + n_2\vec{a}_2 + n_3\vec{a}_3, \quad (1)$$



де n_i – цілі числа; \vec{a}_i – одиничні вектори в напрямках i , відомих як кристалофізичні осі. Характерні значення розмірів елементарної комірки a_i лежать у межах 5–15 ангстрем, кути між її ребрами прямі або близькі до них, дорівнюють 120° або дещо менші від них.

На жаль, такий опис мало допомагає на початкових етапах досліджень, бо ж невідомі модулі та орієнтація векторів \vec{a}_i . Однак, аналіз виразу (1) дає змогу встановити певні корисні закономірності, які легко використати за “візуального” опису кристала. Якщо у кристалі можна знайти точки, що відповідають зміні знаку усіх доданків у (1), то це буде центр симетрії C . За зміни знаку лише одного доданку в (1) маємо площину симетрії P . Можливе знаходження ідентичних точок шляхом повертання довкола певного напрямку. Є лише п’ять кутів такого повертання: 0° (або 360°), 180° , 120° , 90° , 60° . Це частини кола, яким відповідають осі першого L^1 (відсутність такої симетрії) порядку, другого L^2 , третього L^3 , четвертого L^4 та шостого L^6 порядку. Це звичайні осі. Є ще осі дзеркальні та інверсійні. Це сукупність звичайних осей та нормальної до них площини симетрії або розміщеного на них центра симетрії. Справді новими елементами (а не новим записом двох) вони є лише тоді, коли побудовані на уявних (відсутніх) осях відповідного порядку, площині та центрі симетрії.

Позначення: L^2_a, L^3, L_{ni} .

Очевидно, що за наявності двох елементів симетрії має виникати третій, вислідний. Таке множення кількості елементів симетрії триває доти, поки не почнеться поява уже відомих елементів. Якщо обмежитись тільки розташуванням блоків одного кольору, то матимемо 32 такі сукупності елементів симетрії, що групуються у 7 сингоній з такими найвищими сукупностями елементів симетрії:

- кубічна ($3L^4 4L^3 6L^2 9PC$),
- гексагональна ($L^6 6L^2 7PC$),
- тетрагональна ($L^4 4L^2 5PC$),
- тригональна ($L^3_6 3L^2 3PC$),
- ромбічна ($3L^2 3PC$),
- моноклинна ($L^2 PC$),
- триклинна (C).

Їх називають точковими, оскільки під час їхнього застосування не змінює координат хоча б одна точка кристала (центр симетрії), або їхня сукупність на осях чи площинах симетрії.

Навіть у домашніх умовах легко перевірити розуміння симетрійного опису зовнішньої форми багатогранників, яку мають і деякі кристали.

Відомий з дошкільної освіти кубик має симетрію $3L^4 4L^3 6L^2 9PC$, незагострений шестигранний олівець – $L^6 6L^2 7PC$, такий же олівець, загострений з одного кінця – $L^6 6P$, пряма квадратна призма – $L^4 4L^2 5PC$, така ж призма на базі рівностороннього трикутника – $L^3 3L^2 4P$, цеглина – $3L^2 3PC$, пряма призма на основі ромба – $L^2 PC$, цеглина з одним відбитим кутом – C .

Якщо розглядати двоколірні елементи (наприклад, чорне і біле), то кількість груп зростає до 56, але при цьому “виникає” ще й сірий елемент без таких кольорів. Якщо “кольори” – це заряд частинок, то переходимо до симетрії мікросвіту (плюс, нейтральна, мінус).

Виходячи з відомого зв’язку простору і часу, поряд з інверсією координат простору слід ввести до елементів симетрії ще й інверсію часу. Тоді можна описати магнетні матеріали, у яких напруженість магнетного поля залежить не тільки від величини, а й від напрямку струму (формально як зміна напрямку протікання часу).



Якщо до 32 точкових груп симетрії “додати” трансляції, то отримуємо 230 просторових груп.

Суперсиметрія враховує ще “інверсію” матерії та антиматерії.

Поряд з описаним впорядкуванням будівельного матеріалу останнім часом розглядають так зване фрактальне упорядкування, що є певною мірою проміжним між повним впорядкуванням та хаосом. Такими є елементи шлівок на початкових стадіях їхнього росту, траєкторії частинок під час броунівського руху.

Описані закономірності ілюструють такі світлинки.

Рис. 1 ілюструє різні кристалічні утворення.

Рис. 2 – макроскопічну структуру, блоки, на які розбивається монокристал під час фазового переходу, перебудові структури, за якої змінюється симетрія кристала і спонтанно виникає поляризація або механічна деформація ґратки і мало помітна макроскопічна деформація кристала.

Рис. 3–5 – фізичні основи деяких застосувань кристалів.

Дифракція рентгенівських променів, а згодом електронів та нейтронів, підтвердила передбачуване симетрією розташування будівельного матеріалу кристалів. На підставі таких експериментів встановлено модулі та просторову орієнтацію векторів \vec{a}_i “усіх” кристалів. У кристалах складних сполук ще потрібно визначити координати атомів у такій комірці.

На підставі таких даних нині розраховують енергетичну структуру та інші властивості кристалів.

А навіщо ж кристали, якщо вони дорогі та складні в отриманні?

Тут головне – анізотропія. Більшість кристалів є анізотропними, тобто їхні властивості залежать від напрямку, а характерні напрямки допомагає встановити симетрія. На під-

ставі симетрії встановлюють властивості, які може мати цей кристал. Зрозуміло, не йдеться про числові значення певних характеристик, крім випадку, який важко досліджувати, коли певні властивості заборонені симетрією. Найлегше це зрозуміти за наявності у кристалі центра симетрії. Зокрема, за наявності у кристалі центра симетрії не може виникнути поляризація, пропорційна до прикладеного електричного поля (лінійний ефект), тоді ж відсутня оптична активність та усі властивості, які описують тензори непарного рангу.

Останнє твердження впливає з правил перетворення компонент тензора за переходу до нової системи координат з врахуванням зв'язку між ними крізь центр симетрії:

$$\vec{a}_{ijk} \rightarrow C \rightarrow -\vec{a}_{(-i)(-j)(-k)}$$

або

$$a = -a \equiv 0.$$

Отож, п'єзоелектричні перетворювачі на базі лінійного (відповідно значного) ефекту можливі лише на базі ацентричних кристалів:

$$c_{ij} = d_{ijk} E_k.$$

Їхня важливість для стабілізації частот у генераторах електричних коливань, для збудження звукових хвиль в акустооптиці (АО) очевидна.

Це ж можна сказати про оптичну активність:

$$\Delta n_x = \Delta n_y = g_{ijk} E_k,$$

яка має вагомє пізнавальне значення, широко використовують у техніці та метрології для визначення концентрації активних речовин у фармакології, цукровій промисловості тощо.

Важливим і легким для розуміння є наявність у кристалах так званих полярних напрямків, як, наприклад, вісь загостреного олівця. На їхніх кінцях можуть локалізуватись протилежні заряди, такі матеріали можуть бути піроелектриками або сегнетоелектриками.

В оптиці анізотропні кристали дають змогу легко отримати поляризоване світло і на



цій підставі вимірювати електричні та механічні напруги, температуру, створювати шкалу температур, реєструвати жорстку радіацію, записувати, реєструвати та відтворювати інформацію тощо.

Широко відомі індикатори інформації у годинниках та екранах телевізорів, побудовані на базі рідких кристалів. Запис, збереження та відтворення інформації ґрунтуються на використанні магнетних доменів.

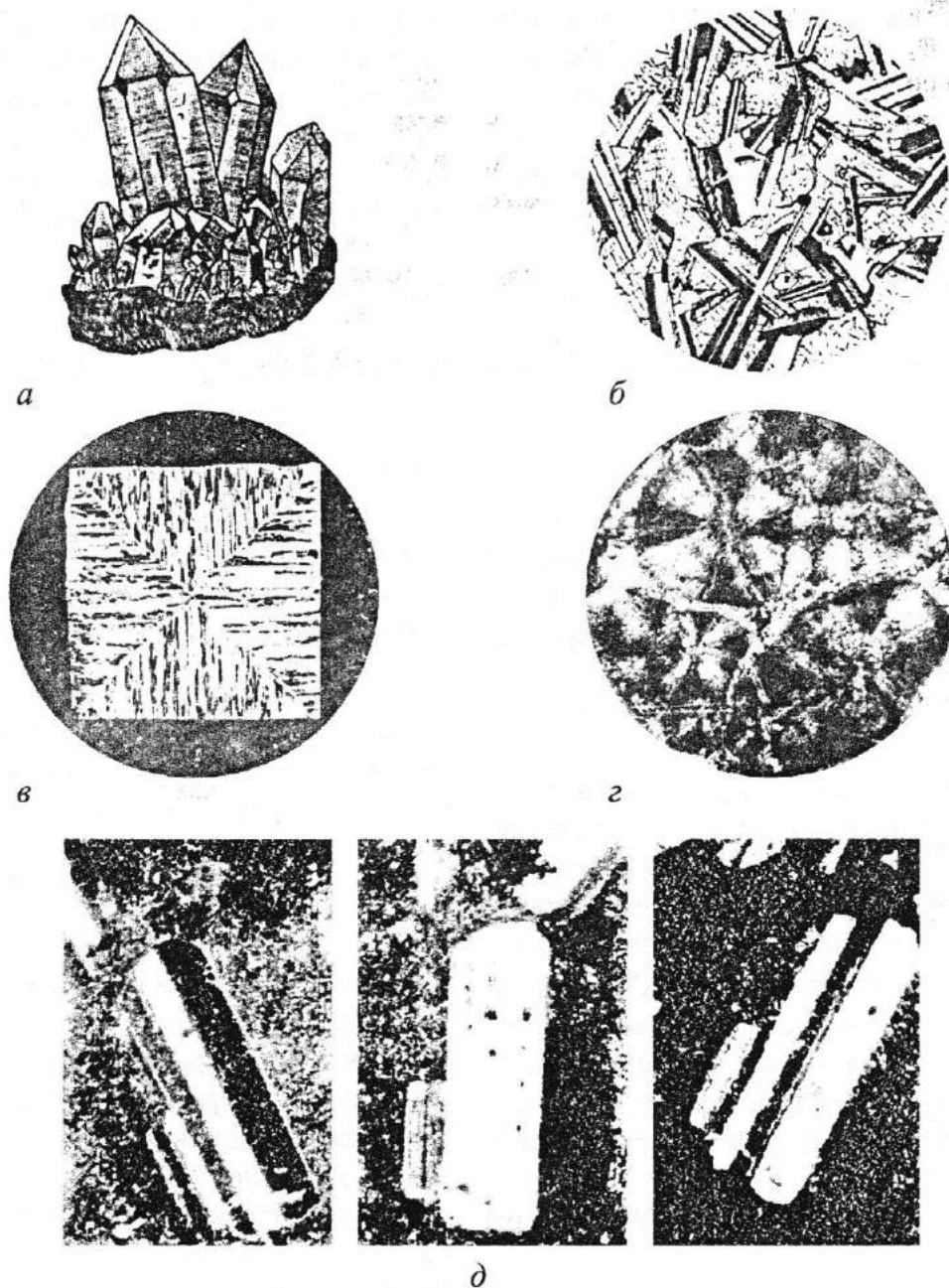


Рис. 1. Основні типи кристалічних утворень: друза кристалу кварцу (а), полікристал (ніколи схрещені) (б), текстура (в), сфероліти (г), двійники плагіоклазу (д)

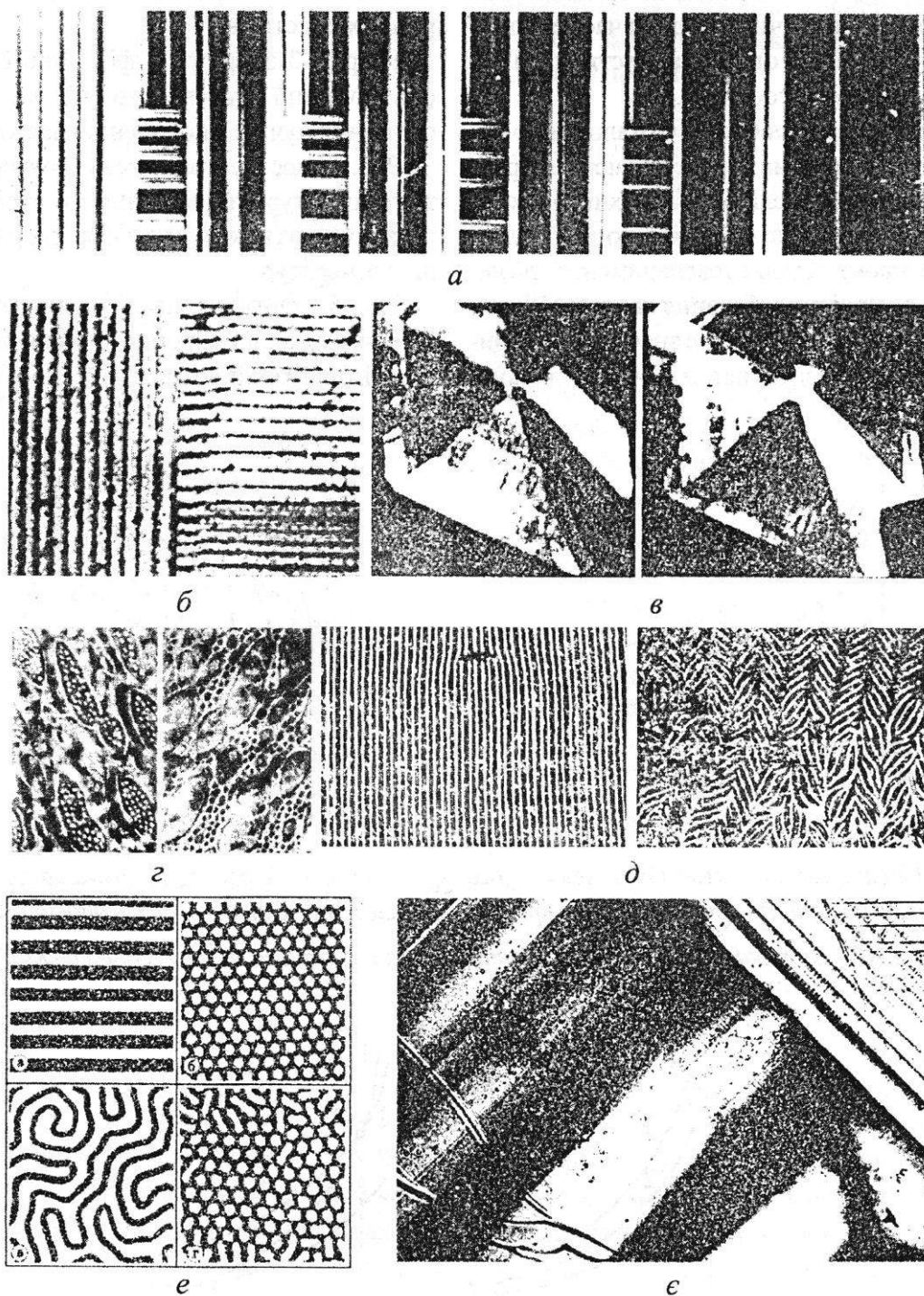


Рис. 2. Види макроскопічної неоднорідності кристалів (збільшення $\sim 100\times$):
 домени кристалів сегнетової солі (а), дигідрофосфату калію (б), великі домени кристалів
 ГАСГ (в), тригліцинсульфату (г), рідких кристалів (д), магнетиків (е), титанату барію (є)



Менше відомі використання кристалів для синхронізації оптичних мод під час генерації частот у нелінійній оптиці та акустичних і оптичних мод в акустооптиці.

На кристалах зроблено чимало наукових відкриттів, вони і надалі залишаються предметом активних досліджень. На їхній базі сьогодні формують нові напрями техніки, модернізують відомі, ставлять експерименти, які перевіряють нові передбачення квантової механіки, що мають світоглядне значення і відкривають нові перспективи в обчислювальній техніці.

Розгляньмо “оптичні” застосування анізотропних кристалів.

На рис. 3 зображено фізичний бік схеми синхронізації оптичних мод під час генерації оптичних пучків з подвоєною частотою.

Рис. 4 ілюструє залежне від довжини хвилі та температури підвищення симетрії кристала, яке можна використати для створення шкали температур.

Рис. 5 – синхронізацію оптичних та акустичних мод за анізотропної скалярної дифракції світлової хвилі на звуковій, що є основою

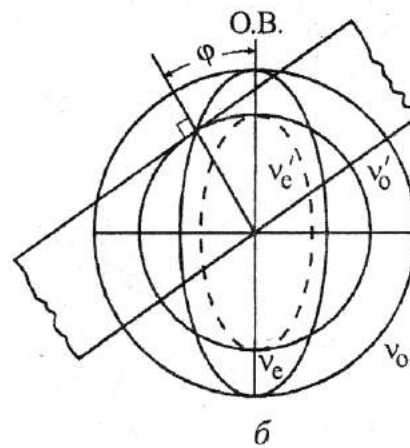
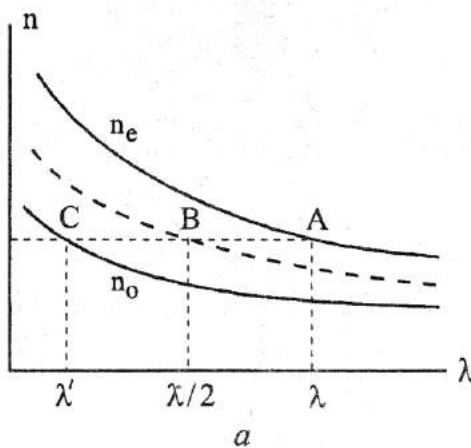


Рис. 3. Спектральна залежність звичайного n_o та незвичайного n_e показників заломлення одновісного додатного кристала (а) та просторова залежність швидкостей відповідних променів V_o, V'_o (б). $O.V.$ – оптична вісь кристала. Контур зразка, для якого $n_e(\varphi, \lambda) = n_o(\varphi, \lambda/2)$

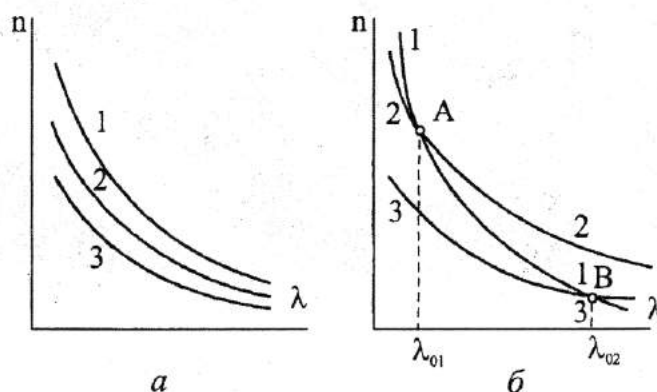


Рис. 4. Спектральна залежність показників заломлення двовісного кристала без інверсії (а) та з інверсією (б) знаку двопроменезаломлення. У точках А і В кристал стає оптично одновісним

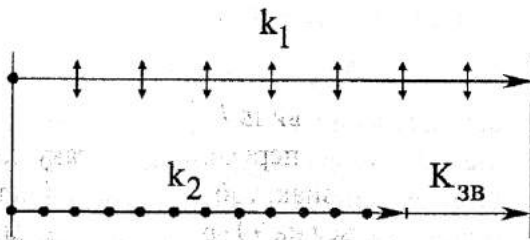


Рис. 5. Приклад синхронізації оптичних та акустичних мод під час анізотропної скалярної дифракції світла на звуковій хвилі. Точки і риски символізують напрямки коливань електричного вектора світлової хвилі. k_1 , k_2 , $K_{зв}$ – хвильові вектори світла і звуку

створення акустооптичних монохроматорів (фільтрів).

Тут важливою є анізотропія електронної поляризованості, що дає змогу використовувати інтерференційні методи реєстрації та забезпечує високу чутливість апаратури, дистанційність вимірювань та неруйнівність зразків.

Відомо, що під час проходження світла крізь анізотропні кристали пучок поляризується: з кристала виходять два промені, електричні вектори яких коливаються у взаємно перпендикулярних площинах або поляризовані по правому і лівому колу. Між ними виникає різниця ходу:

$$\Delta = d(n_1 - n_2)$$

та пов'язана з нею різниця фаз:

$$\delta\varphi = \frac{2\pi d(n_1 - n_2)}{\lambda},$$

де d – товщина зразка; n_1 та n_2 – показники заломлення цих двох променів у кристалі; λ – довжина світлової хвилі, яку розглядають. Різниця ($n_1 - n_2$) – двопронезаломлення для променя, що поширюється по осі 3.

Під дією зовнішніх полів змінюються показники заломлення та їхня різниця. Ці зміни у лінійному наближенні описуються тензора-

ми другого або четвертого рангу. Для одного променя зміну показника заломлення можна задати таким виразом:

$$\Delta\left(\frac{1}{\varepsilon_{ij}}\right) = \Delta\left(\frac{1}{n_{ij}^2}\right) = \frac{-2\Delta n_{ij}}{n_{ij}^3} = r_{ijk} E_k = \pi_{ijkl} \sigma_{kl}.$$

Маємо, відповідно, лінійний електрооптичний чи п'єзооптичний ефект.

Тут $\varepsilon_{ij} = n_{ij}^2$ – діелектрична проникність середовища на оптичній частоті; r_{ijk} – електрооптичний коефіцієнт лінійного ефекту; E_k – напруженість електричного поля вздовж осі k ; π_{ijkl} – п'єзооптичний коефіцієнт; σ_{kl} – механічна напруга.

Зміну двопронезаломлення описує різниця таких виразів.

Аналогічні вирази маємо для магнетного поля.

Індуковані зміни показників заломлення (чи двопронезаломлення) реєструють за змінами пропускання світла J системою схрещених поляризаторів та досліджуваного зразка (чи датчика) між ними, яке описують такою формулою:

$$J = J_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi d(n_1 - n_2)}{\lambda}.$$

Тут усі позначення мають згаданий уже зміст, експериментально встановлюють $\alpha = 45^\circ$.

1. Ці залежності використовують для визначення полів та механічних напруг за вимірюваною різницею ходу. Висока точність вимірювань, змога реєструвати швидкозмінні процеси, дистанційність вимірювань.

2. Якщо під впливом зовнішніх полів виникає циркулярне двопронезаломлення, що веде до повертання площини поляризації на кут α , то вдається виміряти дуже малі різниці ходу.



З виразу

$$360^\circ : \lambda = 0,02 : \Delta\lambda$$

знаходимо

$$\Delta\lambda = 0,4 \text{ \AA}.$$

3. Узгодження частот світлових хвиль під час генерації другої гармоніки, що забезпечує високий коефіцієнт такого перетворення.

Якщо підібрати кристал, для якого показники заломлення однакові для вихідної та подвійної частоти, то промені обох частот одночасно вийдуть з кристала незалежно від місця утворення високоенергетичного кванта. Це можливо за відмінних поляризацій цих променів (рис. 3).

4. Модуляція світлових пучків завдяки дифракції світлової хвилі довжиною λ на механічній хвилі звукопровода довжиною Λ відповідно з формулою:

$$\Lambda \sin \varphi = k\lambda.$$

У синусоїдальній ґратці (як це є в АО):

$$k = -1, 0, 1.$$

5. Використання двох модуляторів, розташованих взаємно перпендикулярно, дає змогу освітити площадку. Маємо АО дефлектор, який освітлює певний екран подібно до того, як електронний пучок забезпечує свічення екрана телевізора чи осцилографа старих випусків.

6. Для розширення апертури пучків, які мають ще задовільну інтенсивність на краях екрана, використовують анізотропну векторну дифракцію світла. Інші методи розв'язання цієї технічної проблеми не конкурентно спроможні порівняно з кристалооптичним. Правда, тут потрібні широкі знання про оптичну індикатрису кристала, тому на деталях не зупиняємось.

7. Створення реперних точок температури, "перенесення" температури ґрунтується на температурно-спектральній залежності інверсії знаку двоприменезаломлення (рис. 4).

Останнє має такий сенс:

$$\Delta n_{13} = (n_1 - n_3) > 0$$

у ділянці довжин хвиль l та менше від нуля в ділянці 2. Під час переходу крізь таку точку кристал змінює знак, тобто коноскопічна фігура повертається на 90 градусів, що видно із якісної зміни картини. До того ж, у цій точці вона стає характерною для одновісного кристала (система концентричних кілець і темного хреста). Знаючи залежність спектрального положення цієї точки від температури, за виміряною довжиною хвилі знаходимо температуру зразка. Якщо ж кристал проградуєований для одної лазерної лінії, то маємо датчик на одну температуру. Маючи кілька спектральних ліній, можемо на одному зразку реалізувати відповідну кількість температурних точок.

8. Вимірювання температури за температурною зміною двоприменезаломлення корисне переважно для реєстрації змін температури. Виходячи з відомого її початкового значення, отриманого іншим методом, встановлюють ніби абсолютне її значення. Інтенсивність світла J , що виходить з поляризаційно-оптичної системи під час нагрівання датчика, описують формулою:

$$J = J_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi d (n_1 - n_2)}{\lambda}.$$

Вона є основою для визначення температурних змін двоприменезаломлення та температури.

9. Цей недолік методу можна дещо зменшити, якщо у ролі датчика температури використати кристал з інверсією знаку двоприменезаломлення. Тоді вихідну температуру визначають за методом п. 8, а наступні її зміни – за п. 9. Якщо користуватись реверсивним лічильником максимумів, то можна автоматично стежити за змінами температури.



10. Цей метод дає змогу вимірювати температуру деталей, що обертаються, наприклад, валів турбін тощо.

11. Він дає змогу вимірювати температуру кабелів під високою напругою, високовольтних трансформаторів, оскільки тут немає гальванічного зв'язку між датчиком та індикатором.

12. Колір плівок рідких кристалів залежить від температури, що використовується для вимірювання температури (діти, важко хворі та ін.).

13. Цим же методом можна стежити за температурою важливих вузлів та деталей механізмів.

14. На базі акустооптичних взаємодій, які ґрунтуються на анізотропній скалярній дифракції світла, побудовані АО фільтри або монокроматори.

Із закону збереження імпульсу (рис. 5):

$$k_e = k_o + K_{ca} \rightarrow \frac{2\pi n_e}{\lambda_0} = \frac{2\pi n_o}{\lambda_{0f}} + \frac{2\pi f}{v}$$

знаходимо залежність довжини хвилі на виході з фільтра λ_0 від частоти ультразвуку f :

$$\lambda_0 = \frac{v(n_o - n_e)}{f}$$

15. Давно відомо, що кристали використовують для виготовлення поляризаторів, різних компенсаторів та інших деталей оптичних приладів. У схемах реєстрації швидкозмінних процесів потрібні компенсатори швидкозмінних різниць фаз, які індукують електричним полем на кристалах.

16. Кристали як робочі елементи у схемах когерентної нелінійної оптики.

17. Багато застосувань кристалів описано в праці [4].

18. Кристали як джерела об'ємних та поверхневих поздовжніх і поперечних механічних хвиль у звукопроводах акустооптичних схем.

19. Сенсори температури, робота яких ґрунтується на повертанні осей оптичної індикатриси моноклінних кристалів.

20. Сенсори реперних точок температури, робота яких ґрунтується на розсіянні світла на доменах, що виникають під час фазових переходів.

21. Запис інформації на основі доменів феромагнетиків. Плівку із феромагнетика розміщують у магнетному полі та нагрівають до температури дещо нижчої від температури фазового переходу. Світловий пучок, який несе потрібну інформацію завдяки його модуляції, фокусується на певну ділянку цієї плівки і підвищує її температуру. Це сприяє зміні доменної структури. Переміщення пучка на сусідню ділянку плівки веде до охолодження попередньої ділянки і закріплення ("заморожування") цього стану доменів. Запис елемента інформації зроблено.

22. Зчитування інформації з магнетної плівки проводять так. До плівки носія інформації підводять подібну плівку головки зчитування з малою коерцитивною силою і відповідно перемагнетчують її, що впливає на інтенсивність зчитувального світлового пучка, наприклад, за законом Малюса

$$J = J_0 \cos^2 \alpha ,$$

де α – кут повертання площини поляризації.

23. Візуалізація (відображення) інформації за допомогою рідких кристалів. На плівку рідкого кристала наносять систему електродів, яка створює на ній відповідний потенціальний рельєф (у годиннику – покази, сформовані його механізмом). Під впливом цього поля змінюється доменна структура певної ді-



лянки плівки, повертається площина поляризації світла, що проходить крізь неї, і система поляризаторів її пропускає або гасить. Маємо світле зображення на темному тлі або темне на світлому.

24. Кристали, як індикатори динамічної голограми. Застосування ґрунтується на зміні показника заломлення кристалу з домішками під впливом світла певної довжини. Ефект, який називають фоторефракцією, викликаний електричним полем фотойонізованих домішок і є ніби аналогом класичного електрооптичного ефекту. Тривалість такого стану мала, оскільки визначається часом життя збудженого стану домішкового центра. Прикладом можуть бути кристали ніобату літію з домішками заліза $\text{LiNbO}_3\text{-Fe}$.

Цікаву інформацію про кристали, поляризоване світло та його класичні застосування можна знайти в багатьох працях, зокрема, [4, 13].

Широке застосування кристалів ґрунтується на їхніх п'єзоелектричних властивостях [14].

Насамперед, це стабілізація несної частоти радіопередавачів, стабільності ходу годинників, вимірювання лінійного пришвидшення та кутової швидкості літальних апаратів без прив'язки до нерухомого репера, вимірювання тисків, напружень в елементах споруд та деталях механізмів, товщини надтонких плівок, появи в атмосфері певних шкідливих сполук, керування елементами адаптивної оптики тощо. Такі "метрологічні" сенсори виготовляють на кристалах кварцу.

На базі сегнетоелектричних кристалів та керамік виготовляють різні "робочі", силові п'єзоелектричні сенсори.

Література

1. Вакарчук І. О. Квантова механіка. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 871 с.
2. Болеста І. М. Теорія електромагнітного поля. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 458 с.
3. Заячук Д. М. Нанотехнології, наноструктури. – Львів: вид. Національного університету "Львівська політехніка", 2009. – 573 с.
4. Жевандров Н. Д. Применение поляризованого света. – М.: Наука, 1978. – 176 с.
5. Желудев И. С. Симметрия и ее приложения. – М.: Энергоиздат, 1983. – 302 с.
6. Костов И. Кристаллография. – М.: Мир, 1965. – 527 с.
7. Кушта Г. П. Введение в кристаллографию. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском госуниверситете, 1976. – 238 с.
8. Мицик Б. Г. Фотопружність анізотропних матеріалів. – Львів: Ліга-Прес, 2012. – 399 с.
9. Поперенко Л. В., Стащук В. С. Фізичні основи матеріалів оптотехніки. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 686 с.
10. Романюк М. О. Практикум з кристаллооптики і кристалофізики. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 362 с.
11. Романюк М. О. Кристалооптика. – Київ: ІЗМН, 1997. – 432 с.
12. Романюк М. О., Крочук А. С., Пащук І. П. Оптика. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 562 с.
13. Шерклифф У. Поляризованный свет. – М.: Мир, 1965. – 264 с.
14. Малов В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергия, 1978. – 248 с.



Лазерна локація штучних супутників Землі. 50 років поступу

С. Апуневич, А. Білінський, Я. Благодир,
Є. Вовчик, Н. Вірун, К. Мартинюк-Лотоцький,

Львівський національний університет імені Івана Франка

Історія науки та техніки пам'ятає і періоди продуктивного розвитку, і періоди регресу. Аж до початку XIX сторіччя технічний прогрес здійснювався без особливого втручання наукової думки. Лише в період промислової революції почалося швидке зближення наукового і технічного прогресу і виник цілісний науково-технічний прогрес. Від цього часу почалося перетворення науки на продуктивну силу, яке тривало майже півтори століття і завершилося в середині 50-х років XX сторіччя розгортанням науково-технічної революції. Не останньою справою у розвитку людства стала потреба визначення відстані до об'єктів, довжини об'єктів, їхнього положення. З розвитком науки і техніки вимірювальні прилади змінювались, вдосконалювались і ставши високоточними, почали виконувати свою унікальну роль у системі сучасного високотехнологічного світу. Від прототипів лінійки до техніки віддалеметрії, від сонячного годинника до унікальних частотомірів – це шлях вдосконалення, результат пошуку не одного покоління.

Серед високоточних методів визначення відстані до об'єктів, зокрема небесних, на перше місце вийшла лазерна локація штучних супутників Землі.

Саме 2014 рік знаменний пам'ятною датою – 50 років активних пошуків у царині лазерної локації. Космічна галузь завжди гуртувала довкола себе новітні технології і спонукала до пошуку нестандартних методологічних рішень.

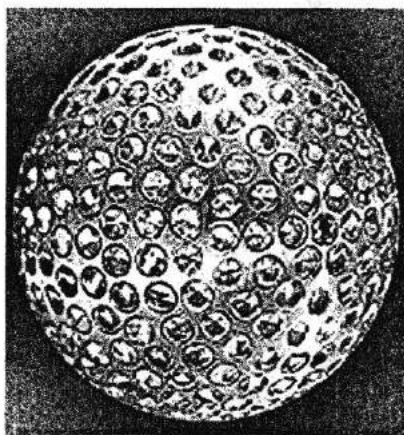
Метод лазерної локації супутників (ЛЛС, у англ. Satellite Laser Ranging, SLR) є визначаль-

ним у реалізації Міжнародної земної системи координат (International Terrestrial Reference System, ITRS). Міжнародна служба лазерної локації штучних супутників Землі (International Laser Ranging Service, ILRS), як частина Міжнародної служби обертання Землі (International Earth Rotation Service, IERS) забезпечує розв'язання низки питань геодезії, геофізики, фундаментальної фізики, дає вагомий внесок у вивчення гравітаційного поля Землі.

Коли йдеться про початки становлення лазерної локації, варто згадати супутник Beacon Explorer B (висота орбіти майже 1000 км). 31 жовтня 1964 року в Центрі космічних польотів Годдарда (Грінбелт, США) осцилограф відтворив слабкий сигнал, що повернувся від супутника. Саме цю дату і вважають початком ери лазерної локації. Точність вимірів при перших експериментах становила декілька метрів. Для розуміння поступу в точності ведення локації – нині це величина становить декілька міліметрів.

Лазерна локація супутників, разом з глобальною навігаційною супутниковою системою (ГНСС, у англ. Global Navigation Satellite System, GNSS), радіоінтерферометрією з наддовгою базою (РНДБ, у англ. Very-long-baseline interferometry, VLBI) і доплерівськими спостереженнями (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite, DORIS), визначає і підтримує ITRS.

ЛЛС забезпечує однозначну реалізацію геоцентра, тобто початок відліку ITRS, за допомогою спостережень спеціально обладнаних



Геодезичний супутник Лагеос

геодезичних супутників серії LAGEOS (Laser GEOdynamics Satellite), Etalon та ін. До того ж, ЛЛС робить значний внесок у визначення масштабу ITRF. ЛЛС навігаційних супутників здійснює прив'язку системи відліку ГНСС до центра мас Землі.

Техніка лазерної локації потрібна для:

- визначення геоцентричної відстані до супутника;
- калібрування й уточнення елементів орбіт низькоорбітальних супутників;
- визначення найнижчого ступеня і порядку коефіцієнтів гравітаційного поля, включаючи їх часові зміни;
- підтвердження значень параметрів гравітаційного поля, отриманих за допомогою нових космічних місій.

ЛЛС забезпечує калібрування бортових альтиметрів низькоорбітальних супутників, наприклад, JASON, ENVISAT, ICESAT та інших, за допомогою яких проводяться дослідження топографії земної поверхні, світового океану, льодовикового шару.

Міжнародний астрономічний союз та Міжнародний союз геодезії та геофізики 1987 року створили Міжнародну службу обертання Землі (International Earth Rotation Service, IERS).

Вона об'єднує діяльність служб, створених для поліпшення координації спостережень та опрацювання даних, зокрема ILRS.

Космічна ера внесла якісно нові зміни у діяльність цих організацій і стимулювала створення мереж станцій нового покоління – мереж станцій космічної геодезії, а саме ЛЛС станцій, доплерівських станцій радіотехнічних спостережень супутників глобальних навігаційних систем.

У січні 1988 року IERS перейшла на нові методи спостережень для визначення параметрів обертання Землі – ЛЛС та РНДБ. Починаючи з 2003 року IERS реорганізована у Міжнародну службу обертання Землі та систем відліку.

Сьогодні Міжнародна служба лазерної локації (International Laser Ranging Service, ILRS) координує роботу понад сорока наземних станцій по всьому світу, які постачають високоточні результати у міжнародні центри опрацювання.

Спостережна база IERS формується такими службами, як ILRS, IVS (International VLBI Service), IGS (International GPS Service), IDS (International DORIS Service), що забезпечують потреби астрономії, геодезії та геофізики інформацією про:



Лазерний дальномір (м. Львів, Брюховичі)



- міжнародну небесну систему координат (International Celestial Reference System – ICRS) та її реалізації (International Celestial Reference Frame – ICRF),

- міжнародну земну систему координат (International Terrestrial Reference System – ITRS) та її реалізації (International Terrestrial Reference Frame – ITRF),

- параметри обертання Землі для здійснення переходу від ICRF до ITRF та дослідження динаміки Землі,

- геофізичні параметри, потрібні для вивчення динаміки Землі,

- стандарти і моделі, рекомендовані в цих напрямках науки.

IERS публікує річні звіти про свою діяльність, місячні та добові дані про параметри обертання Землі та їхній прогноз, про різниці шкал часу тощо. Успішна діяльність IERS можлива лише за умови активної участі в її роботі наукових установ багатьох країн світу та міжнародних організацій.

Міжнародна служба лазерної локації, як офіційний технічний сервіс, виконує низку важливих задач:

- координує діяльність усіх міжнародних мереж ЛЛС станцій;

- розробляє стандарти і специфікації для відповідності продуктів спостережень;

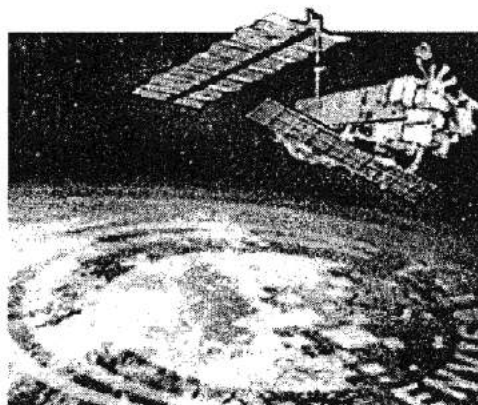
- розробляє стратегії та пріоритети лазерної локації для підвищення ефективності мережі;

- збирає, аналізує, архівує і розподіляє дані супутникової та місячної лазерної локації для задоволення потреб споживачів;

- забезпечує контроль за якістю і технічну діагностику глобальної мережі;

- співпрацює з новими супутниковими місіями для розроблення та вдосконалення кутикових відбивачів для збільшення якості й кількості даних;

- співпрацює з науковими програмами для оптимізації наукових даних;



Супутник Envisat

- підтримує впровадження нових технологій для поліпшення ефективності даних.

Українська мережа станцій лазерної локації штучних супутників Землі (ШСЗ) входить до складу міжнародної мережі станцій, яку координує служба ILRS. Діяльність української мережі ЛЛС станцій, яка є складовою національної Укргеокосмомережі, узгоджується Українським центром визначення параметрів обертання Землі. Українська мережа об'єднує чотири станції лазерної локації: "Толосіїв – Київ", "Львів", "Сімеїз", "Кацивели", які інтегровані в Міжнародну службу лазерної локації і виконують міжнародні наукові програми.

В експериментальному режимі працюють ще чотири станції: "Ужгород", "Алчевськ", "Дунайці" та "Євпаторія".

Отже, метод лазерної локації штучних супутників Землі є невід'ємною частиною інфраструктури сучасного світу. Тут йдеться і про прикладну складову під час використання результатів локації, і про фундаментальну. Бурхливий розвиток науки і техніки вимагатиме постійне збільшення точності та кількості даних, що в свою чергу спонукатиме до "підняття планки" і лазерної локації, хоча вже сьогодні точність даних є надзвичайно висока та відповідає вимогам Міжнародної служби обертання Землі.



НАНОТЕХНОЛОГІЇ ТА НАНОМАТЕРІАЛИ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ (NANO-2014)

(Продовження, початок читайте на 2-ій сторінці палітурки)

Під час конференції виступили з доповідями проф. Жанмаріо Мартра з Туринського університету (Італія), проф. Франческо Бонакорсо з Інституту хімічних та фізичних процесів (Італія), проф. Леонід А. Чернозатонський з Інституту загальної фізики імені Прохорова (Російська Федерація), др. Леонід Долгов з Тартуського університету (Естонія), проф. Роберто Капуто з Університету П'єра і Марії Кюрі (Франція), др. Владіміж Мішта та Роман Клімкевич з Інституту низьких температур та структурних досліджень (Польща), Емір Туркоглу з Агрі-Ібрагім університету (Туреччина).

Від імені організаторів конференції зі вступним словом звернувся до присутніх директор Інституту фізики НАН України, віце-президент НАН України, координатор проекту "Нанотвінінг", професор Леонід Яценко, який відзначив значне зростання чисельності учасників, які у важкий для України час усе ж відважилися на участь у науковому обговоренні, а відтак представили всі регіони нашої держави, навіть ті, де зараз тривають бойові дії.

Професор Леонід Яценко наголосив на важливості залучати молодь до наукових досліджень у галузі нанотехнологій, зокрема зосередив увагу на ініціативі організації літніх шкіл, одна з яких відбулася нещодавно в м. Яремче. Координатор проекту висловив сподівання, що "Нанотвінінг" і надалі сприятиме інтеграції українських учених у європейське наукове та інноваційне середовище шляхом формування стратегічних альянсів із науково-дослідницькими інститутами та університетами на національному та міжнародному рівнях. Це стимулюватиме розвиток нанотехнологій в Україні, активізувавши взаємодію творців інноваційних нанотехнологій із бізнес-структурами задля здійснення трансферу технологій і залучення інвестицій у наукову сферу.

З вітальним словом звернувся до учасників пленарного засідання Ректор Львівського національного університету імені Івана Франка, професор Володимир Мельник:

"Наш Університет відкритий до наукового пошуку, до українських та іноземних дослідників, яких завжди радо зустрічає. Своєю участю у конференції Ви надаєте особливу моральну підтримку нашій державі, яка нині переживає нелегкі часи. Попри те, що наука завжди була індиферентною до політики, сьогодні просто неможливо стояти осторонь політичних процесів.

Сучасною наукою загальноновизнано, що теоретична фізика є лідером серед наукових галузей, адже її дослідження нерідко знаходять застосування в суміжних дисциплінах. У Львівському університеті на розвитку природничих наук акцентовано особливу увагу, адже без них Університет не зміг би називатись класичним. У нас щороку відбувається низка наукових конференцій, симпозіумів, семінарів, зокрема й щорічний регіональний семінар, у яких беруть участь молоді науковці, аспіранти, магістри, засвідчуючи, що, попри всі кон'юктурні моменти нашого суспільного розвитку, зацікавлення молоді наукою зростає", – зазначив Ректор.

Проф. Мельник наголосив, що "проведення II Міжнародної науково-практичної конференції "Нанотехнології та наноматеріали" (NANO-2014) у Львівському національному університеті імені Івана Франка вкотре демонструє прагнення Університету бути в комунікації з провідними вишами України та світу".

Про важливість партнерства у реалізації проекту "Нанотвінінг" і потребу вільного обміну ідеями та думками щодо розвитку нанонауки йшлося у виступі професора Туринського університету Жанмаріо Мартра.



Вітальне слово з нагоди початку роботи конференції виголосив доктор Інституту фізики Тартуського університету Леонід Долгов.

Експерт із нанотехнологій European Profiles, доктор Володимир Архангельський зазначив, що II Міжнародна науково-практична конференція "Нанотехнології та наноматеріали" (NANO-2014) сприятиме розвитку спільних міжнародних досліджень у сфері нанотехнологій і наноматеріалів, а також у галузях, що є на стику наукових напрямів.

Про III Міжнародну літню школу для молодих учених "Нанотехнології: від фундаментальних досліджень до прикладних застосувань", що відбулася 23–26 серпня 2014 року в м. Яремче, і яка фактично була першим етапом конференції, розповіла менеджер проекту "Нанотвінінг", завідувач відділу трансферу технологій Інституту фізики НАН України Олена Фесенко. За словами Олени Мар'янівни, проведення таких літніх шкіл сприяє налагодженню діалогу молодих науковців зі всесвітньо відомими ученими з університетів і науково-дослідних інститутів.

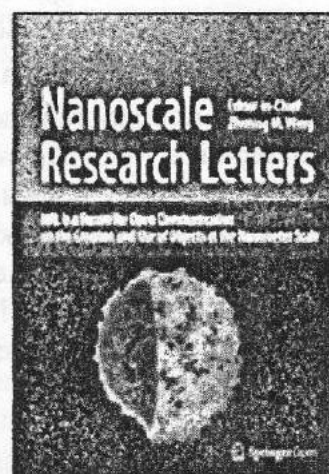
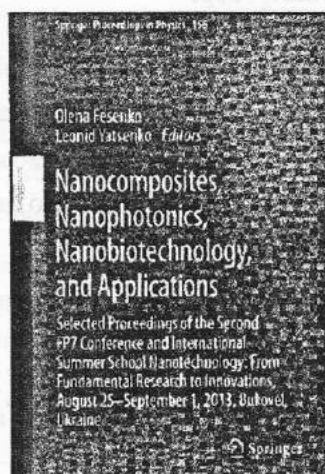
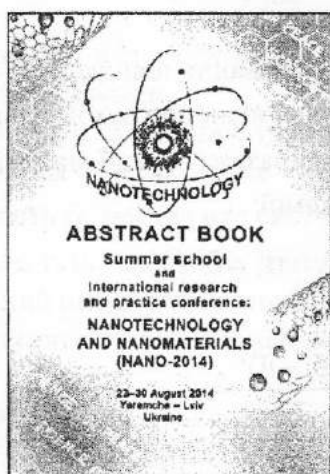
Програма конференції передбачала проведення пленарних і секційних засідань, представлення та огляд стендових доповідей.

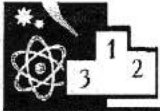
Серед перших пленарних доповідей була доповідь доктора Франческо Бонакорсо, фахівця з досліджень графена і одного з експертів, які підготували "дорожню карту" з дослідження, розвитку та застосування графена в межах європейського проекту "Graphene Flagship".

Основними тематичними напрямками конференції були: мікроскопія нанооб'єктів, нанокомпозити та наноматеріали, наноструктуровані поверхні, нанооптика та нанофотоніка, наноплазмоніка та підсилена коливальна спектроскопія, нанобіотехнології та нанохімії технології.

Під час конференції відбулась презентація книжки видавництва Springer "Nanocomposites, Nanophotonics, Nanobiotechnology and Applications", куди увійшли кращі статті з минулорічної конференції NANO-2013. Цього року також планують третє видання, адже попередні два користуються великою популярністю.

Матеріали конференції будуть опубліковані та виставлені у відкритому міжнародному журналі Nanoscale Research Letters у межах спеціального випуску "Nanotechnology and Nanomaterials (NANO-2014)".





ЦЕНТР МАС І ДОДАВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ У ЗАДАЧАХ НА ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ІМПУЛЬСУ

Олег Орлянський,

кандидат фізико-математичних наук,

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

У статтях, що були опубліковані у попередніх числах журналу “Світ фізики”¹, ми використали закон додавання швидкостей для знаходження виразів імпульсу:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

та кінетичної енергії:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

І імпульс, і кінетична енергія системи багатьох частинок дорівнюють, відповідно, сумі імпульсів і кінетичних енергій усіх частинок системи. Систему частинок називають ізольованою, якщо можна знехтувати зовнішніми силами, що діють на частинки і враховувати лише сили, з якими ті взаємодіють між собою. Імпульс ізольованої системи частинок зберігається. Кінетична енергія ізольованої системи може змінюватися, але ця зміна ΔE_k має однакове значення з погляду будь-якого інерціального спостерігача. Коли ми вживаємо слово “система” до частинок, то маємо на увазі їхню “сукупність”, певну кількість, яку подумки відділяємо від іншого Всесвіту. Але існує ще одне використання слова “система”, і замінити його іншим словом не можливо. Якщо кажуть “сис-

тема відліку”, мають на увазі щось на зразок лабораторії, обладнаної приладами для вимірювань, у якій може перебувати спостерігач.

Розв’яжімо таку задачу.

Знайдіть швидкість \vec{v} руху системи відліку, відносно якої кінетична енергія системи частинок має найменше значення.

За традицією суму позначатимемо великою грецькою буквою сигма Σ . Тоді кінетичну енергію всіх частинок відносно рухомої системи відліку можна записати у стислому вигляді:

$$E_k' = \sum \frac{m_i \vec{v}_i'^2}{2},$$

де m_i – маса частинки під номером i , а \vec{v}_i' – її швидкість.

За законом додавання швидкостей швидкість \vec{v}_i' частинки відносно рухомої системи відліку можна виразити через її швидкість \vec{v}_i відносно нерухомої:

$$\vec{v}_i' = \vec{v}_i - \vec{u}.$$

Тоді

$$E_k' = \sum \frac{m_i (\vec{v}_i - \vec{u})^2}{2} =$$

$$= \frac{1}{2} \left(\sum m_i \vec{v}_i^2 - 2 \sum m_i \vec{v}_i \cdot \vec{u} + \sum m_i \vec{u}^2 \right) =$$

¹Читайте у журналі “Світ фізики”, 2012. – № 1. – с. 39–45; “Світ фізики”, 2012. – № 3. – с. 14–19.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \left(\sum m_i \vec{v}_i^2 - 2\bar{u} \sum m_i \vec{v}_i + \bar{u}^2 \sum m_i \right) = \\
 &= E_k - \bar{u} \bar{p} + \frac{m \bar{u}^2}{2},
 \end{aligned}$$

де $m = \sum m_i$ – загальна маса; а $\bar{p} = \sum m_i \vec{v}_i$ – загальний імпульс усіх частинок відносно нерухомої системи відліку.

Виділимо в останньому рівнянні повний квадрат:

$$\begin{aligned}
 E'_k &= E_k + \frac{m}{2} \left(\bar{u}^2 - 2\bar{u} \frac{\bar{p}}{m} \right) = \\
 &= E_k - \frac{\bar{p}^2}{2m} + \frac{m}{2} \left(\bar{u} - \frac{\bar{p}}{m} \right)^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

Кінетична енергія E'_k системи частинок залежить від швидкості \bar{u} системи відліку.

Цю залежність зумовлює останній доданок у (1), який є повним квадратом.

Найменшого нульового значення цей доданок має у системі відліку, що рухається зі швидкістю

$$\bar{u} = \frac{\bar{p}}{m} = \frac{\sum m_i \vec{v}_i}{\sum m_i}. \quad (2)$$

Відносно цієї системи відліку кінетична енергія мінімальна.

З виразом (2) ми вже зустрічалися у двох попередніх статтях. Саме так визначається швидкість \vec{v}_c центра мас системи частинок.

Отже, у системі відліку центра мас не тільки загальний імпульс частинок дорівнює нулеві, а й кінетична енергія найменша з усіх можливих.

Скориставшись системою відліку центра мас, отримуємо й інші спрощення.

Так, з формули (1) знаходимо:

$$E_k = \frac{\bar{p}^2}{2m} + E'_k = \frac{m \vec{v}_c^2}{2} + E'_k. \quad (3)$$

Кінетична енергія будь-якої системи частинок (наприклад, тіла, яке вони утворюють) дорівнює кінетичній енергії поступального руху центра мас $m \vec{v}_c^2 / 2$ і кінетичної енергії відносно центру мас E'_k .

Тепер ми легко можемо знайти кінетичну енергію кільця (обруча, труби), що котиться без проковзування.

Якщо маса кільця m , а швидкість руху v , то кінетична енергія центра мас буде $m v^2 / 2$.

Оскільки проковзування відсутнє, швидкість зовнішніх точок кільця відносно інерціальної системи відліку, що супроводжує кільце, також дорівнює v .

Вважаючи товщину кільця малою порівняно з його радіусом, маємо, що всі точки кільця обертаються довкола його центра зі швидкістю v .

Отже, кінетична енергія кільця відносно його центра мас буде:

$$E'_k = \frac{m v^2}{2}.$$

За формулою (3) кінетична енергія кільця відносно нерухомої поверхні

$$E_k = m v^2,$$

що удвічі більше від кінетичної енергії його поступального руху. Половина енергії йде на поступальний рух, а половина на обертальний.

Якщо кільце скочується з похилої площини, не проковзуючи, у системі відліку центра мас легко побачити, як кільце розкручує сила тертя спокою між ним і поверхнею. Її робота йде на збільшення кінетичної енергії обертання.

Далі розв'яжемо ще таку задачу.

Під яким кутом до горизонту нахилена площина, якщо кільце за однаковий час і зісковзує з неї плазом, і скочується у вертикальному положенні? Коефіцієнт тертя ковзання $0,5$.

Час руху буде однаковим, якщо однаковими будуть пришвидшення центра мас і, відповідно, швидкості його руху донизу площини.

У випадку проковзування плазом, початкова потенціальна енергія mgh переходить у кінетичну енергію поступального руху та витрачається на роботу проти сили тертя $\mu mg \cos \alpha$.

У випадку скочування без проковзування, половина початкової потенціальної енергії $mgh/2$ йде на таку ж саму кінетичну енергію поступального руху, а ще половина – на обертальний рух. Отже, кінетична енергія обертального руху має дорівнювати роботі проти сили тертя ковзання на довжині площини S :

$$\frac{mgh}{2} = \mu mg \cos \alpha \cdot S.$$

Враховуючи, що

$$h = S \sin \alpha,$$

знаходимо

$$\operatorname{tg} \alpha = 2\mu.$$

Для

$$\mu = 0,5$$

маємо

$$\alpha = 45^\circ.$$

Доведіть самостійно, що й для кутів $\alpha > 45^\circ$ час руху кільця у двох положеннях також буде однаковим. За таких кутів кільце, що скочується у вертикальному положенні, розкручуватиметься силою тертя лише частково. Нестача кінетичної енергії обертального руху йде на

роботу проти сил тертя на ефективній довжині проковзування. На мікроскопічному рівні це призводить до збільшення неупорядкованої кінетичної та потенціальної енергії атомів та молекул, з яких складаються тіла. Таку енергію ще називають внутрішньою.

Про внутрішню енергію і деякі цікаві співвідношення молекулярно-кінетичної теорії ми поговоримо наступного разу.

Підводячи підсумок, можна зазначити, що кільце, труба будуть скочуватись похилою площиною без проковзування, якщо кут її нахилу $\alpha < \operatorname{arctg}(2\mu)$.

Сила тертя спокою, що гальмує поступальний рух центра мас кільця, менша від сили тертя ковзання $\mu mg \cos \alpha$, і кільце швидше скотиться, ніж зісковзне плазом.

У граничному випадку $\alpha = \operatorname{arctg}(2\mu)$ час руху однаковий.

Якщо вважати, що максимальний коефіцієнт тертя спокою дорівнює коефіцієнту тертя ковзання, для всіх інших кутів нахилу площини $\alpha > \operatorname{arctg}(2\mu)$ вертикальне кільце скочуватиметься, частково проковзуючи, з таким самим часом руху

$$t = \sqrt{\frac{2S}{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}},$$

як і зісковзуватиме у “лежачому” стані. Це є наслідком однакових сил тертя.

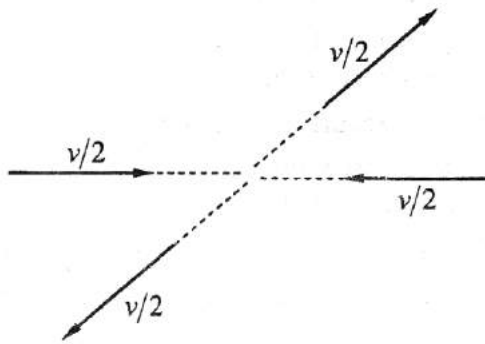
Перехід до системи центра мас дає змогу прояснити фізику явища і значно спростити розрахунки у багатьох задачах.

Розгляньмо задачу про зіткнення двох кульок однакової маси.

На кульку, що перебувала у стані спокою, налітає інша кулька такої ж маси. Як будуть рухатись кульки після пружного зіткнення?

Під час пружного зіткнення механічна енергія зберігається і не переходить у внутрішню. Оскільки потенціальною енергією взаємодії кульок на відстані ми нехтуємо, загальна кінетична енергія після зіткнення буде такою ж, як і до.

Перейдемо до системи відліку центра мас. Маса кульок однакові, тому швидкість системи відліку удвічі менша від швидкості v кульки, що рухається.

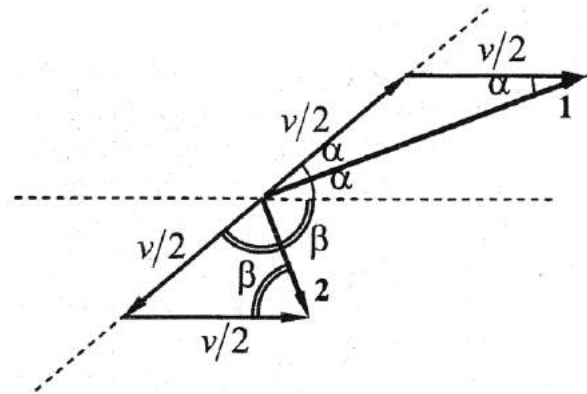


Мал. 1.

У системі центра мас кульки рухаються назустріч одна одній зі швидкостями $v/2$. Загальний імпульс дорівнює нулеві, тому після зіткнення кульки мають розлетітися з однаковими швидкостями у протилежних напрямках. Ці швидкості дорівнюватимуть початковим швидкостям (мал. 1), якщо під час удару кульки не набудуть обертового руху, віддавши йому частину енергії поступального.

Про обертальний рух розмова йтиме у наступному числі журналу. Зараз, не обговорюючи причини, ми такою можливістю нехтуємо.

Щоб знайти швидкості руху кульок після зіткнення відносно нерухомої системи відліку, слід скористатися законом додавання швидкостей.



Мал. 2.

На мал. 2 зображено додавання швидкостей для нашого випадку.

Швидкість першої кульки спрямована під кутом α до напрямку, вздовж якого вона рухалась до зіткнення.

Швидкість другої з цим напрямком утворює кут β .

Кут між цими швидкостями

$$\alpha + \beta = 90^\circ.$$

Це зрозуміло з елементарної геометрії й того, що трикутники швидкостей рівнобедрені (див. мал. 2).

Відповідь задачі не залежить від механізму удару. Закони збереження точно так виконуватимуться у випадку, якщо безпосередньо удару не було, а кульки взаємодіяли (відштовхувались або притягувались) на відстані. Якщо початкова і кінцева відстані між ними однакові, потенціальна енергія їхньої взаємодії не вплине на остаточну відповідь. Враховуючи зменшення інтенсивності взаємодії з відстанню, можна сміливо розглядати задачі з великими відстанями, наприклад, під час розсіяння одного електрона на іншому, що спочатку перебував у спокої, або під час прольоту однієї зорі повз іншу такої ж маси. Кут розльоту незмінно

буде 90° за умови початкової нерухомості одного з двох тіл.

Окремий випадок лобового зіткнення, коли нерухоме тіло починає рухатись безпосередньо у напрямку загального імпульсу, вимагає й від тіла, що налітало, аналогічного: рухатись або вздовж цього напрямку, або назад. Це ніби суперечить куту розльоту 90° . Єдина вимога – тіло, що спочатку рухалось, зупиняється. Так воно й відбувається, в чому легко переконатися із закону додавання швидкостей у системі центра мас.

Подібні задачі не тільки підкорюють своєю красою, а й можуть мати значний економічний ефект. Кожен кілограм вантажу в космосі це немалі кошти і великі зусилля тисяч людей.

Чи можна пришвидшити космічний корабель, не витрачаючи пального?

Так.

Завдяки гравітаційному маневру.

Подивіться на злами траєкторій Піонера 10 та Піонера 11 під час проходження поблизу планет-гігантів, Юпітера та Сатурна (мал. 3). Завдяки гравітаційному полю планет, космічні

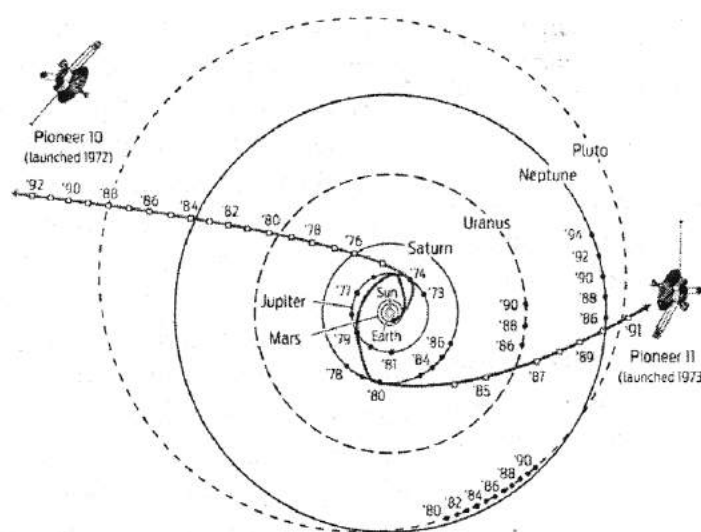
апарати збільшували швидкість та змінювали напрям руху. Закон збереження енергії при цьому, звісно, не порушувався. Кінетична енергія руху двох тіл у системі відліку “сонячна система” в результаті гравітаційного маневру перерозподіляється. У космічного апарату збільшується, а у планети – на стільки ж зменшується. Враховуючи неймовірно велику масу планети порівняно з масою Піонера, зміна її швидкості настільки мала, що це не вдається зафіксувати найсучаснішими приладами.

Розгляньмо докладніше, як відбувається гравітаційний маневр.

Припустимо, що планета рухається відносно Сонця з деякою швидкістю \vec{v} . Космічний корабель підлітає до неї (скажімо, на відстань десяти радіусів) зі швидкістю \vec{v}_1 , а після маневру, віддалившись на таку ж відстань, набуває швидкості \vec{v}_2 .

У нашому спрощеному розгляді знехтуємо впливом Сонця.

По-перше, на таких малих відстанях між тілами порівняно з відстанню до Сонця, не-



Мал. 3.

велике пришвидшення, якого надає Сонце, буде майже однаковим і у планети, і у космічного корабля.

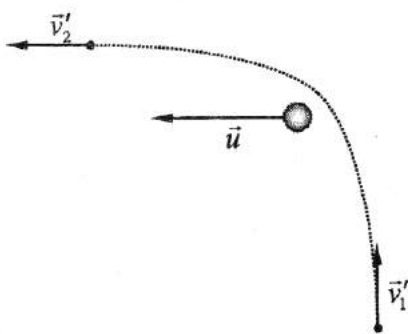
По-друге, сила, з якою планета діє на космічний корабель, значно перевищує вплив Сонця.

Нарешті, по-третє, зміна потенціальної енергії з наближенням з десяти радіусів до одного становить 90 % від зміни потенціальної енергії з наближенням до одного радіусу з нескінченності.

Отже, з енергетичного погляду відстані між тілами не такі вже й малі.

Система відліку центра мас внаслідок великої різниці між масами майже співпадає з системою відліку планети².

Оцініть самостійно відносну похибку їх швидкостей. У цій системі відліку планета нерухома, а космічний корабель рухається за гіперболою і на однаковій відстані має однакові за модулем швидкості \vec{v}'_1 і \vec{v}'_2 (мал. 4).



Мал. 4.

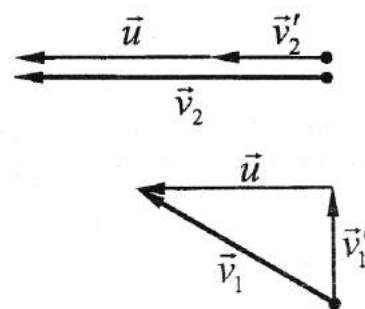
Щоб знайти початкову і кінцеву швидкості космічного апарату відносно Сонця, до швидкостей \vec{v}'_1 і \vec{v}'_2 слід додати швидкість системи відліку \vec{u} .

²Подібні питання було розглянуто у журналі "Світ фізики", 2012. – № 3. – С. 14–19.

З мал. 5 добре видно, що швидкість \vec{v}'_2 суттєво перевищує швидкість \vec{v}'_1 .

Так, завдяки зміні напрямку руху, вдається збільшити швидкість, не витрачаючи пального. Звичайно, існують маневри, внаслідок яких швидкість космічного апарату зменшується.

Наприклад, під час руху космічного апарату у зворотному напрямку (мал. 4, 5).



Мал. 5.

Комбінуючи одні маневри з іншими можна спробувати все точно розрахувати і запустити космічну обсерваторію на сотні років мандрувати сонячною системою, вивчаючи різні планети та їхні супутники під час зближення...

Щоправда, паливо все ж знадобиться. Для корекції курсу.

У Сонячній системі дуже багато тіл. Розрахувати вплив навіть наймасивніших можна тільки наближено. До того ж, такі розрахунки сьогодні обов'язково враховують поправки теорії відносності.

Отже, попереду нас чекає ще багато цікавого.

Ми обов'язково дізнаємось про елегантний зв'язок закону додавання швидкостей у теорії відносності з геометрією Лобачевського і навчимося відповідати на складні запитання за допомогою малюнків.

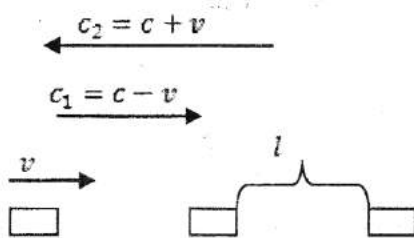
До наступної зустрічі!

РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ ІV ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Суми, 2014)

8 клас

Задача 1.

Розгляньмо процес передачі сигналу в системі відліку, пов'язаній з колоною (див. мал.).



Якщо швидкості сигналу в цій системі позначити як v_1 (у напрямку від хвоста колони до її голови) і v_2 (проти руху колони), то відповідно шукані швидкості в системі Землі будуть:

$$u_1 = v_1 + v,$$

$$u_2 = v_2 - v.$$

Повний час проходження сигналу від одного автомобіля до сусіднього в напрямку руху (враховуючи, що швидкість звуку в цьому напрямку $c_1 = c - v$ у системі колони) разом із затримкою:

$$\Delta t_1 = \frac{l}{c - v} + \tau.$$

Аналогічний час проходження сигналу в зворотному напрямку (тут швидкість звуку $c_2 = c + v$):

$$\Delta t_2 = \frac{l}{c + v} + \tau$$

Тоді швидкості у системі колони:

$$v_1 = \frac{l}{\Delta t_1} = \frac{l}{\frac{l}{c - v} + \tau},$$

$$v_2 = \frac{l}{\Delta t_2} = \frac{l}{\frac{l}{c + v} + \tau}.$$

Швидкості, що шукаємо, будуть:

$$u_1 = \frac{c - v}{1 + \frac{\tau}{l}(c - v)} + v = 100 \text{ м/с},$$

$$u_2 = \frac{c + v}{1 + \frac{\tau}{l}(c + v)} - v \approx 52,78 \text{ м/с}.$$

Під час поширення світла в нерухомому середовищі (як для нерухомої колони автомобілів):

$$\begin{aligned} u_0 &= u_1(v = 0) = \\ &= u_2(v = 0) = \frac{c}{1 + \frac{\tau}{l}c} \end{aligned}$$

пов'язана з коефіцієнтом заломлення

$$u_0 = \frac{c}{n}$$

Звідси отримуємо:

$$n = 1 + \frac{\tau}{l} c,$$

$$\frac{\tau}{l} = \frac{n-1}{c}.$$

Швидкість уздовж потоку води, що рухається, буде:

$$u = u_1 = \frac{c-v}{1+(n-1)\left(1-\frac{v}{c}\right)} + v =$$

$$= v + \frac{c-v}{n-(n-1)\frac{v}{c}}.$$

Різниця швидкостей дорівнюватиме:

$$\Delta u = u - u_0 = u - \frac{c}{n} =$$

$$= v \left(1 - \frac{1}{n^2 - n(n-1)\frac{v}{c}} \right) \approx 3,06 \text{ м/с.}$$

Примітка. Останній вираз можна значно спростити, завдяки тому що

$$\frac{v}{c} \ll 1,$$

$$n(n-1)\frac{v}{c} \ll n^2.$$

Звідси отримуємо:

$$\Delta u \approx v \left(1 - \frac{1}{n^2} \right).$$

Задача 2.

Передусім зазначимо, що з малюнка довжина дошки дорівнює 5 м.

Верхня, п'ята дошка впасти з четвертою не може, оскільки нависає над нею менше, ніж наполовину (мал. 1).

Четверта разом з п'ятою впасти з третьою не можуть, оскільки їхній центр мас розміщений на відстані 1,6 м по горизонталі від лівого краю прірви, що менше, ніж 2,2 м, відстань до точки Г, краю третьої дошки.

Можна й надалі з'ясувати відстань до центра мас все більшої кількості дошок і порівнювати з відстанню до крайньої точки під ними. А можна записати моменти сил, що намагаються обернути конструкцію в один або інший бік.

Рівновага трьох верхніх дошок відносно точки В:

За годинниковою стрілкою їх намагається повернути сила тяжіння, що діє на п'яту дошку, її момент:

$$M_5 = mg \cdot 1,3 \text{ м.}$$

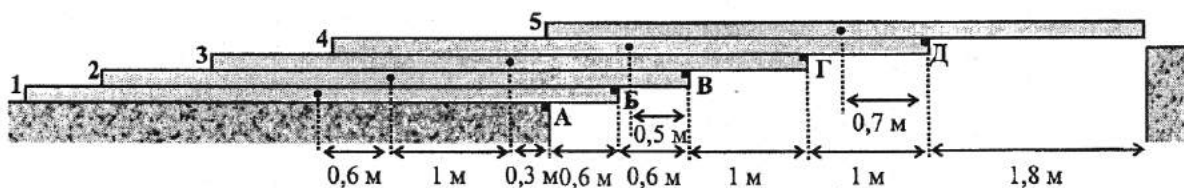
Проти годинникової стрілки – сили тяжіння, що діють на четверту і третю дошки:

$$M_4 = mg \cdot 0,5 \text{ м,}$$

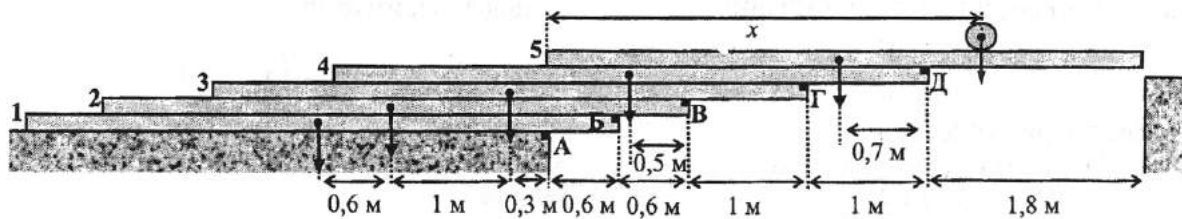
$$M_3 = mg \cdot 1,5 \text{ м.}$$

Оскільки,

$$M_4 + M_3 = mg \cdot 2 \text{ м} > M_5 = mg \cdot 1,3 \text{ м,}$$



Мал. 1.



Мал. 2.

довкола точки В дошки за годинниковою стрілкою перевертатися не почнуть.

Аналогічно доводимо для точок Б і А.

Оскільки довкола жодної з точок поворот неможливий, дошки не впадуть, попри те, що верхня дошка “висунулась” на всю свою довжину.

Тепер врахуємо можливе положення Буратіно, який віддалився від краю прірви (точки А) на відстань x по горизонталі (мал. 2).

За найбільшої відстані x , відносно точки повороту спостерігатиметься рівновага.

Рівняння рівноваги занесямо у таблицю, для зручності записавши відстані в системі SI.

Як видно з таблиці, найбільша відстань, на яку Буратіно може обережно відійти праворуч від лівого краю прірви, тільки 0,9 м.

Далі вся конструкція почне завалюватись, повертаючись довкола точки А за годинниковою стрілкою.

Із таблиці можна побачити, якщо обертання довкола точок А, Б, В неможливе, Буратіно спокійно може перейти п’ятиметрову прірву,

не боячись обертання довкола точок Г і Д (розраховані відстані перевищують 5 м).

Щоб врятувати Буратіно, можна скористатися цим резервом і переформувати дошки. Для цього можна, наприклад, вчинити так.

Поставити Буратіно на самому краю верхньої 5-ї дошки ($x = 5$ м), зсунути четверту дошку ліворуч настільки, наскільки ще можлива рівновага 5-ї дошки з Буратіно відносно точки Д, знайти довжину її виступу.

Далі також змістити ліворуч 3-ю дошку, знайти довжину її виступу відносно точки Г, і так далі.

Просумувавши всі знайдені довжини виступів, можна знайти максимальну ширину прірви, яку Буратіно зможе перейти без сторонньої допомоги (Карабаса-Барабаса). Вона дорівнює приблизно 4,7 м, що менше від ширини прірви за умови.

Тобто переставлення дошок не розв’язує проблеми. Залишимо їх у початковому стані, і спробуємо скористатися Карабасом-Барабасом, як противагою.

Точка повороту	Рівняння рівноваги	x
Д	$\frac{1}{3} mg(x - 3,2) = mg \cdot 0,7$	$x = 5,3$ м
Г	$\frac{1}{3} mg(x - 2,2) + mg \cdot 0,3 = mg \cdot 1,5$	$x = 5,8$ м
В	$\frac{1}{3} mg(x - 1,2) + mg \cdot 1,3 = mg \cdot 0,5 + mg \cdot 1,5$	$x = 3,3$ м
Б	$\frac{1}{3} mg(x - 0,6) + mg \cdot 1,9 + mg \cdot 0,1 = mg \cdot 0,9 + mg \cdot 1,9$	$x = 3$ м
А	$\frac{1}{3} mgx + mg \cdot 2,5 + mg \cdot 0,7 = mg \cdot 0,3 + mg \cdot 1,3 + mg \cdot 1,9$	$x = 0,9$ м

Якщо Карабас ступить на нижню дошку, намагаючись упіймати Буратіно, він своєю вагою притисне цю дошку до землі, й обертання довкола точки А стане неможливим.

Наприклад, для випадку, коли Карабас опиниться ліворуч на межі між першою і другою дошками, умова рівноваги відносно точки А:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3}mgx + mg \cdot 2,5 + mg \cdot 0,7 = \\ & = mg \cdot 0,3 + mg \cdot 1,3 + mg \cdot 1,9 + \frac{16}{3}mg \cdot 3,8 \end{aligned}$$

дає $x = 61,7$ м – дуже велике значення.

Отже, Буратіно на самому початку має стояти на позначці $x = 0,9$ м, а після входження Карабаса на першу дошку бігти до позначки $x = 3$ м, яку можна обминути після того як Карабас наступить на другу дошку.

Коли Карабас наступить на третю дошку, про обмеження можна не думати, а бігти щодуху, оскільки з наближенням Карабаса до точки А рівновага може опинитися під загрозою.

Розгляньмо найсуттєвішу умову рівноваги відносно точки А, припускаючи, що Карабас біжить рівномірно зі швидкістю v_K , а Буратіно – v_B :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3}mg(0,9 + v_B t) + mg \cdot 2,5 + mg \cdot 0,7 = \\ & = mg \cdot 0,3 + mg \cdot 1,3 + \\ & + mg \cdot 1,9 + \frac{16}{3}mg \cdot (5 - v_K t). \end{aligned}$$

За час

$$t = \frac{80}{v_B + 16v_K}$$

наступить рівновага.

Припустимо, що в цей момент часу Буратіно опиниться на протилежному боці, тобто

$$0,9 + v_B t = 5.$$

Тоді Буратіно вдасться врятуватись, якщо його швидкість становитиме не менше, ніж $656/759 \approx 0,864$ від швидкості Карабаса.

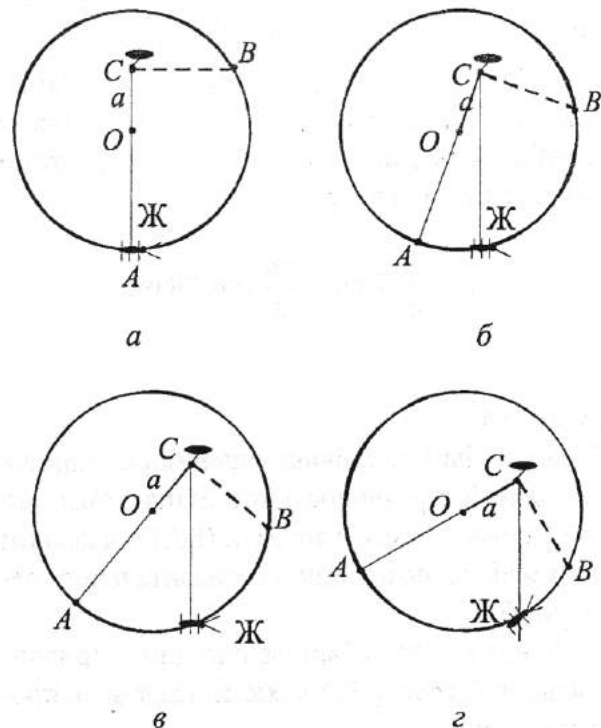
Звісно, переформатувавши дошки, можна втекти від Карабаса і за меншої швидкості, а самого злодія примусити обвалити піраміду дошок.

І насамкінець, щоб примусити Карабаса бігти за Буратіном, останній може подразнити його золотим ключиком від таємної кімнати, як у казці.

Задача 3.

1. Оскільки жук набагато важчий, ніж диск, то під час руху він увесь час залишається під точкою підвісу. Тому в нерухомій системі координат його рух – це підйом по вертикальній лінії догори (мал. 1).

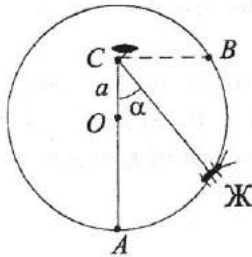
Такий рух виникає як результат двох рухів: рух жука по краю диска та обертання диска відносно точки підвісу.



Мал. 1.

2. Центр диска точка O завжди є на одній і тій же відстані $a = 4$ см від осі підвісу. Тобто вона рухається по колу.

Щоб знайти її шлях, треба знати кут α , на який повернеться диск (мал. 2).



Мал. 2.

3. У системі відліку, яка пов'язана з диском все вище перелічене можна подати у вигляді, що точки O і C залишаються на місці, жук повзе вздовж краю диска, а "вертикальна" лінія $CЖ$ (точка підвісу C – жук $Ж$) обертається довкола точки C .

Коли жук доповзе до точки B , ця лінія становитиме з лінією CO кут 90° .

4. Відтак, у нерухомій системі координат лінія CO повернеться на 90° , отже, точка O пройде шлях, що дорівнює чверті довжини кола радіусом $a = 4$ см:

$$S = \frac{1}{4} \cdot 2\pi a = \frac{\pi a}{2} = 6,28 \text{ см.}$$

Задача 4.

Невідповідність співвідношення розмірів на світлині й в реальності пов'язана з тим, що ми бачимо космічні апарати (КА) під деяким кутом відносно площини горизонтального перерізу КА.

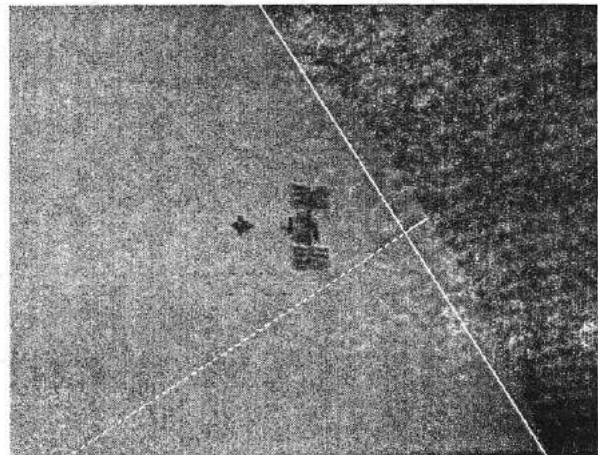
Уздовж яких габаритів площина горизонтального перерізу КА нахилена відносно променя зору?

Із світлини легко бачити, що нахил уздовж осі, перпендикулярної до панелей сонячних батарей (у проекції на вертикальну вісь на світлині), не має.

Інакше б проміжки між панелями батарей були б на світлині різної ширини. Однаковість величини проміжків свідчить про те, що нахил міжнародної космічної станції є в проекції на горизонтальний напрямок (на світлині).

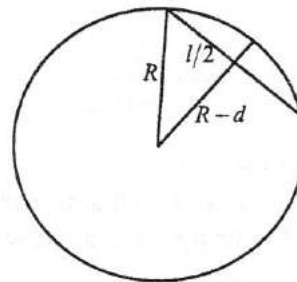
Для відповіді на інші запитання, знайдемо радіус зображення Сонця на світлині.

Для цього проводимо хорду між крайніми точками зображення поверхні Сонця, в яких зображення перетинає горизонтальну рамку світлини (мал. 1).



Мал. 1.

За допомогою лінійки позначаємо на світлині центр нашої хорди. Ми отримаємо серединний перпендикуляр до хорди (мал. 2).



Мал. 2.

Вимірюємо довжину хорди $l = 15$ мм і відстань від неї до дуги кола вздовж серединного перпендикуляра $d = 7$ мм.

За теоремою Піфагора отримуємо:

$$R^2 = (R - d)^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2.$$

Підставимо виміряні величини.

$$R = \frac{d^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}{2d} \approx \frac{l^2}{8d} \approx 37,5 \text{ см.}$$

Ширина станції на світліні $h = 22,5$ мм у $50/3 \approx 16,7$ разів менша від обчисленої величини радіуса Сонця. Цей розмір у стільки ж разів більший від справжнього розміру станції $H = 108,5$ м, у скільки відстань до Сонця більша від відстані до станції.

Звідси, склавши пропорцію, знаходимо висоту орбіти:

$$L = 306 \text{ км.}$$

Отже, висота орбіти КА над поверхнею Землі дорівнює приблизно 306 км.

Задача 5.

1. Для розв'язання задачі скористаємося припущенням, що вода під час руху не стискається. Це призводить до того, що за однакові проміжки часу через довільний переріз струменя протікатимуть однакові маси рідини:

$$m_0 = m.$$

Внаслідок нестисливості рідини її густина є сталою.

Оскільки

$$m = \rho V,$$

то

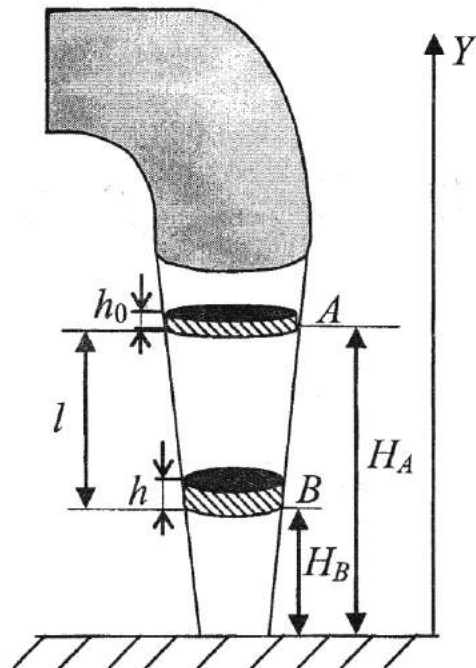
$$\rho V_0 = \rho V,$$

$$V_0 = V.$$

Вибираємо проміжок часу Δt достатньо маленьким. У цьому випадку можна вважати об'єм рідини циліндричним.

Об'єм циліндра визначається співвідношенням:

$$V = Sh = \frac{\pi d^2}{4} h.$$



2. Упродовж невеликого проміжку часу швидкість рідини майже не змінюється, тоді

$$h = v \Delta t.$$

Виконаємо математичні перетворення:

$$V_0 = V,$$

$$\frac{\pi d_0^2}{4} h_0 = \frac{\pi d^2}{4} h,$$

де d_0 – діаметр отвору крана; d – діаметр струменя на висоті H_B ; h_0 – висота циліндра виб-

раного об'єму рідини на висоті H_A ; h – висота циліндра того самого об'єму рідини на висоті H_B .

$$d_0^2 h_0 = d^2 h,$$

$$d_0^2 v_0 \Delta t = d^2 v \Delta t,$$

де v_0 – швидкість витікання води з крана (початкова швидкість); v – швидкість рідини на висоті H_B .

$$d_0^2 v_0 = d^2 v,$$

$$d = d_0 \sqrt{\frac{v_0}{v}}. \quad (1)$$

3. Щоб знайти швидкість v , скористаємося законом збереження механічної енергії:

$$W_A = W_B.$$

Для точки A повна механічна енергія дорівнює:

$$W_A = mgH_A + \frac{mv_0^2}{2}.$$

Для точки B повна механічна енергія дорівнює:

$$W_B = mgH_B + \frac{mv^2}{2}.$$

З малюнка знаходимо:

$$l = H_A - H_B.$$

$$\frac{v^2}{2} = \frac{v_0^2}{2} + g(H_A - H_B),$$

$$\frac{v^2}{2} = \frac{v_0^2}{2} + gl.$$

Тоді залежність швидкості від відстані до крана можна визначити з виразу:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gl}. \quad (2)$$

4. Підставмо вираз для швидкості (2) у вираз (1) та отримаємо:

$$d = d_0 \sqrt{\frac{v_0}{v}} = d_0 \sqrt{\frac{v_0}{\sqrt{v_0^2 + 2gl}}} =$$

$$= d_0 \sqrt{\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2gl}{v_0^2}}}} = d_0 \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{2gl}{v_0^2}}}.$$

5. Перевірка одиниць вимірювання:

$$[d] = [M] \sqrt{\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2 \left[\frac{M}{c^2} \right] [M]}{\left[\frac{M^2}{c^2} \right]}}}} = [M].$$

Отже,

$$d = d_0 \sqrt{\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2gl}{v_0^2}}}} = d_0 \frac{1}{\sqrt[4]{1 + \frac{2gl}{v_0^2}}}.$$

9 клас

Задача 1.

Під час нагрівання води у чайнику кількість теплоти, що виділяє нагрівальний елемент, йде на нагрів води і на теплові втрати. Теплові втрати пропорційні до різниці температур води T і довколишнього середовища T_0 . Інші чинники (площа поверхні чайника, місце розташування, наявність перетягу, кількість води у чайнику) вважаємо незмінними.

Отже, потужність теплових втрат буде:

$$P_{\text{втр}} = k(T - T_0),$$

де k – деякий коефіцієнт пропорційності.

Нехай за невеликий проміжок часу Δt температура води у чайнику збільшується від T_1 до T_2 .

Тоді

$$P\Delta t = c_b m_b (T_2 - T_1) + k(T - T_0)\Delta t, \quad (1)$$

де P – потужність електрочайника; T – середня температура в проміжку від T_1 до T_2 .

Це рівняння теплового балансу, у якому ми знехтували втратами теплоти на нагрів корпусу чайника порівняно з нагрівом води, яка має велику теплоємність.

Під час кипіння температура води залишається сталою

$$T_{100} = 100 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Вся енергія, яку виділяє нагрівальний елемент, йде на випаровування води та теплові втрати:

$$P = L \frac{\Delta m_b}{\Delta t} + k(T_{100} - T_0). \quad (2)$$

Далі відповімо на перше запитання задачі.

Коли чайник автоматично вимикається, кипіння ще продовжується деякий час $t_1 = 15$ с. Цей час енергія на підтримання кипіння та теплові втрати йде з нагрівального елемента, температура якого більша від

$$T_{100} = 100 \text{ }^\circ\text{C}.$$

За умовою, кількість води, що випаровувалась за одиницю часу, рівномірно зменшується від початкового значення $\Delta m_b / \Delta t$ до нуля.

Отже, візьмемо середнє значення $\frac{1}{2} \frac{\Delta m_b}{\Delta t}$

та запишемо рівняння теплового балансу:

$$\begin{aligned} cm(T_x - T_{100}) &= \\ &= \frac{1}{2} L \frac{\Delta m_b}{\Delta t} t_1 + k(T_{100} - T_0)t_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Нарешті, на етапі охолодження на

$$\Delta T = T_{100} - T_{99} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

за час $t_2 = 30$ с, різниця температур змінюється на дуже малий відсоток (температура довколишнього середовища T_0 значно менша від $T_{100} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$), тому вважатимемо потужність теплових втрат сталою.

Рівняння теплового балансу під час охолодження:

$$c_b m_b \Delta T + cm\Delta T = k(T_{100} - T_0)t_2. \quad (4)$$

З рівняння (4) виражаємо коефіцієнт k , з рівняння (2) $\Delta m_b / \Delta t$ і підставляємо в рівняння (3):

$$\begin{aligned} cm(T_x - T_{100}) &= \\ &= \frac{1}{2} P t_1 + \frac{1}{2} \frac{t_1}{t_2} (c_b m_b + cm) \Delta T, \end{aligned} \quad (5)$$

звідси знаходимо, що

$$T_x = \frac{P t_1 t_2 + t_1 (c_b m_b + cm) \Delta T}{2 t_2 cm} + T_{100}, \quad (6)$$

$$T_x \approx 260 \text{ }^\circ\text{C}.$$

З рівняння (1) корисна кількість теплоти буде $c_b m_b (T_2 - T_1)$, а витрачена – $P\Delta t$.

Отже, ККД буде:

$$\eta = \frac{c_b m_b (T_2 - T_1)}{P\Delta t},$$

або з урахуванням рівняння теплового балансу:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P\Delta t - k(T - T_0)\Delta t}{P\Delta t} = \\ &= 1 - \frac{k}{P}(T - T_0). \end{aligned} \quad (7)$$

Виходить, що зі збільшенням температури, ККД зменшується завдяки збільшенню теплових втрат.

Якщо у чайник налити холодну воду, температура якої нижча від температури довколишнього повітря, ККД за формулою (1) на

початку нагріву може виявитись навіть більшим від одиниці. Це пов'язано з тим, що теплообмін з довколишнім середовищем призведе не до втрати теплоти, а до її "придбання": разом вода отримує більше джоулів, ніж їй передасть нагрівальний елемент.

Коефіцієнт k з рівняння (4) підставимо у вираз для ККД, якщо

$$\begin{aligned} T_{100} &\approx 100 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \eta &= 1 - \frac{k}{P}(T_{100} - T_0) = \\ &= 1 - \frac{(c_b m_b + cm) \Delta T}{Pt_2} = \\ &= \frac{557}{6} \% \approx 93\% . \end{aligned}$$

Зазначимо, що цей ККД дещо завищений, оскільки ми не враховували нагрівання самого чайника, а також те, що під час нагрівання, особливо за високих температур, вода, хоча й не кипить, але досить інтенсивно випаровується.

Отже, реальний ККД має бути дещо нижчий від 93 %.

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{Pt_1 t_2 + t_1 (c_b m_b + cm) \Delta T}{2t_2 cm} + T_{100}, \\ T_n &\approx 260 \text{ }^\circ\text{C}; \\ \eta &= 1 - \frac{k}{P}(T_{100} - T_0) = \\ &= 1 - \frac{(c_b m_b + cm) \Delta T}{Pt_2} = \\ &= \frac{557}{6} \% \approx 93\% ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P\Delta t - k(T - T_0)\Delta t}{P\Delta t} = \\ &= 1 - \frac{k}{P}(T - T_0). \end{aligned}$$

Задача 2.

За формулою лінзи визначимо відстань від зображення B_1 до лінзи (очевидно, що зображення точки A отримаємо у точці подвійної фокусної відстані $2F$ (точка A) праворуч від лінзи.

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{F}, \quad (1)$$

$$f_1 = \frac{d_1 F}{d_1 - F}, \quad (2)$$

$$f_1 = \frac{2,5F \cdot F}{2,5F - F} = \frac{2,5F}{1,5} = \frac{5}{3}F. \quad (3)$$

Аналогічно розрахуємо положення зображення палички AB (точок A і B) у момент часу, коли точка B кінця палички досягне подвійної фокусної відстані.

Зауважимо, що зображення точки B буде в точці подвійної фокусної відстані (точка B_2) праворуч від лінзи.

Зображення точки A правого кінця палички буде на відстані $3F$ від осі лінзи.

Справді,

$$AB = 2,5F - 2F = 0,5F. \quad (4)$$

$$d_2 = 1,5F. \quad (5)$$

$$\frac{1}{f_2} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{F},$$

$$f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F}.$$

$$f_2 = \frac{1,5F \cdot F}{1,5F - F} = \frac{1,5F^2}{0,5} = 3F. \quad (6)$$

Час руху палички дорівнюватиме:

$$t = \frac{0,5F}{v}. \quad (7)$$

Відстань, яку пройде зображення точки A за цей час, буде:

$$l_A = 3F - 2F = F. \quad (8)$$

Середня швидкість руху точки A :

$$v_A = \frac{l_A}{t} = \frac{F \cdot v}{0,5F} = 2v. \quad (9)$$

Відстань, яку пройшло зображення точки B за цей самий час, буде:

$$l_B = 2F - f_1 = 2F - \frac{5}{3}F = \frac{1}{3}F. \quad (10)$$

Середня швидкість руху зображення точки B упродовж визначеного часу становитиме:

$$v_B = \frac{l_B}{t} = \frac{\frac{1}{3}F}{0,5F} v = \frac{2}{3}v. \quad (11)$$

Відношення середніх швидкостей руху зображень точок A і B дорівнює:

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{2v}{\frac{2}{3}v} = 3.$$

Відношення розмірів зображення палички в кінцевий момент часу до розмірів скляної палички буде:

$$\frac{A_2 B_2}{AB} = \frac{F}{0,5F} = 2.$$

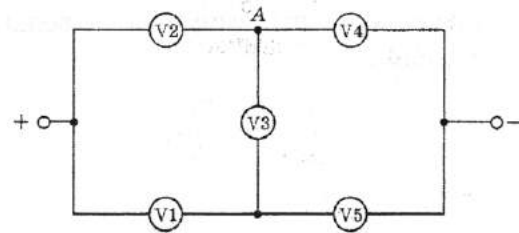
Задача 3.

Насамперед зазначимо, що напруга джерела струму стала, в обох випадках маємо:

$$U = U_2 + U_4 = 5 \text{ В.}$$

Якщо ключ розімкнено, маємо незбалансований міст.

На мал. 1 зображено його еквівалентну схему.



Мал. 1.

Із другого правила Кірхгофа отримаємо напругу на вольтметрі V_3 ($U_3 = 1 \text{ В}$).

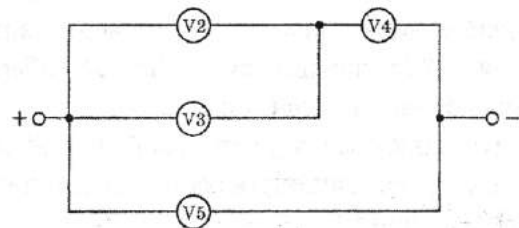
Застосовуючи перше правило Кірхгофа до вузла A кола, отримаємо співвідношення:

$$\frac{U_2}{r_2} = \frac{U_3}{r_3} + \frac{U_4}{r_4}.$$

Звідси отримуємо:

$$r_4 = \frac{3r_2 r_3}{2r_3 - r_2}.$$

Після замикання ключа еквівалентна схема кола має вигляд, який зображено на мал. 2:



Мал. 2.

Тепер відношення напруг U_2 до U_4 дорівнює відношенню опору ділянки кола V_2 з V_3 до опору вольтметра V_4 :

$$\frac{1}{4} = \frac{r_2 r_3}{r_4 (r_2 + r_3)}$$

Підставивши вираз для r_4 , отримаємо

$$r_3 = 1,4 \cdot r_2$$

Звідси,

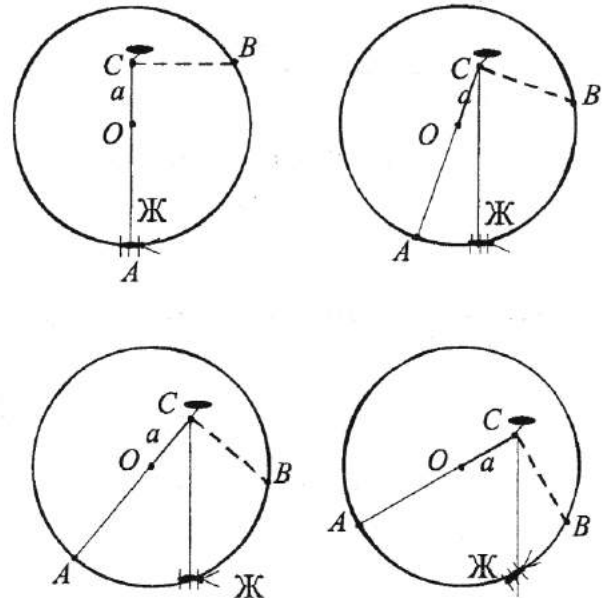
$$r_4 = \frac{7r_2}{3}$$

За умовою, таким самим є й опір вольтметра V_1 , а саме:

$$r_1 = r_4 = \frac{7r_2}{3}$$

Отже,

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{7}{3}, \quad \frac{r_3}{r_2} = \frac{7}{5}$$



Мал. 1.

Задача 4.

1. Оскільки жук набагато важчий, ніж диск, то під час руху він увесь час залишається під точкою підвісу. Тому в нерухомій системі координат його рух – це підйом по вертикальній лінії догори (мал. 1).

Такий рух виникає як результат двох рухів: рух жука по краю диска та обертання диска відносно точки підвісу.

У системі відліку, яка пов'язана з диском, все вище зазначене можна подати у вигляді, що точки O і C залишаються на місці, жук повзе вздовж краю диска, а “вертикальна” лінія $CЖ$ (точка підвісу C – жук $Ж$) обертається довкола точки C (мал. 2, а).

Швидкість жука у нерухомій системі координат u – це швидкість скорочення лінії $CЖ$. Вона дорівнює:

$$\begin{aligned} u &= V \cos(90^\circ - \beta) = \\ &= V \sin \beta = \frac{a}{R} \cdot V \sin \alpha. \end{aligned}$$

Відтак, перпендикулярна відрізьку $CЖ$ складова швидкості жука на довжину відрізьку $CЖ$ не впливає; перехід до кута α виконаємо за допомогою теореми синусів:

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{a}{\sin \beta}$$

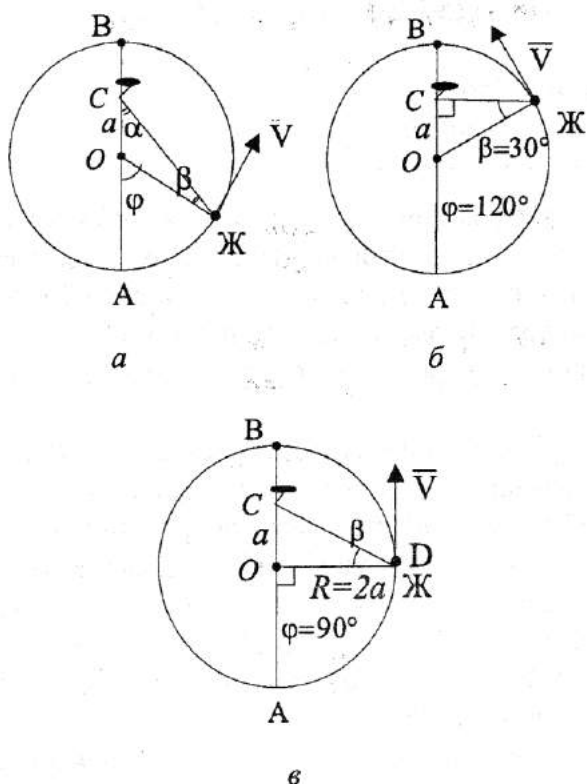
Отримаємо розв'язки:

а). Максимальна швидкість жука у нерухомій системі відліку становитиме ($\sin \alpha = 1$):

$$u_{\max} = \frac{a}{R} \cdot V = 6 \text{ мм/хв.}$$

б). Якщо кут $\alpha = \pi/2$, кут $\varphi = 120^\circ$ (мал. 2, б), а довжина пройденого жуком шляху дорівнюватиме третині кола:

$$S = \frac{2\pi R}{3}$$



Мал. 2.

Звідси, отримаємо відповідь для часу:

$$t = \frac{S}{V} = \frac{2\pi R}{3V} = 14 \text{ хв.}$$

в). Коли жук проповзе половину шляху і опиниться у точці D (рис. 2, в), для $\sin \beta$ матимемо:

$$\sin \beta = \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} = \frac{1}{\sqrt{5}}.$$

Звідси отримаємо:

$$u = V \sin \beta = \frac{\sqrt{5}}{5} \cdot V = 5,4 \text{ мм/хв.}$$

Задача 5

Інформація, яку можна вилучити з першого досліду:

1. Оскільки розміри провідних кульок однакові, то заряд між ними поділиться на три рівні частини;

2. Перша та друга кульки мають однакові маси;

3. Третя кулька масивніша від першої та другої;

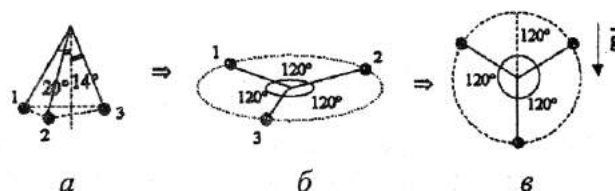
4. Кулонівські сили, що діють між кульками, та сили тяжіння, що діють на них, мають однаковий порядок величини.

Що зміниться зі збільшенням первинного заряду у 2014 разів?

1. Кулонівські сили збільшаться у $2014^2 = 4056196$ разів! Отже, навіть якщо відстань між кульками зросте у 4 рази (з $0,5l$ до $2l$), то все одно, кулонівські сили будуть у 250000 разів більшими від сил тяжіння!

2. Це означає, що ми можемо у першому наближенні вважати, що між кульками діють тільки кулонівські сили. Які положення вони при цьому займуть?

Звичайно, вони утворять конфігурацію, за якої будуть якомога далі одна від одної, тобто вони розмістяться у вершинах правильного трикутника (мал. 1, б).



Мал. 1.

У цієї системи (із зарядами, що “жорстко” закріплені у вершинах правильного трикутника) залишаються три степені свободи – вона може обертатися.

“Увімкнемо” силу тяжіння, і тоді система повернеться так, щоб її центр ваги був якомога нижче. А це означає, що третя, наймасивніша кулька, розміститься знизу, а перша та друга кульки, займуть симетричні положення (мал. 1, в).

Отже, нитка третьої кульки утворюватиме з вертикаллю кут 0° , а нитки першої та другої кути – 120° (або, якщо кути відраховувати по-іншому, кути – 60°).



ЗАКОНИ ФІЗИКИ У ЖИВІЙ ПРИРОДІ

Нестор Марія Іванівна,

Викладач фізики, Новороздільський політехнічний коледж

Чому дерева не ростуть до неба?

Чому дуже великі тварини не бувають граційними?

Чому на суші немає тварин, більших від слона?

Чому найбільші тварини збереглися у морі?

Чому не зустрічаються ссавці з розміром мухи?

Чому слон флегматичний, а миша, навпаки, дуже рухлива?

Навряд чи хтось задумувався над подібними запитаннями. Однак вони дають змогу продемонструвати важливість законів фізики у живій природі.

Як стверджує німецьке прислів'я: "Природа потурбувалася, щоб дерева не росли до неба".

Надто високе дерево не витримає власної ваги.

Припустімо, що розміри дерева (висота і діаметр стовбура) раптом збільшились у n разів. Тоді об'єм, а, отже, й маса його зростуть у n^3 разів. Водночас площа основи стовбура, що перебирає на себе вагу дерева, збільшиться лише в n^2 разів. Відповідно, навантаження на одиницю площі поперечного перерізу стовбура зросте у n разів (навантаження – це тиск, він дорівнює:

$$p = \frac{mg}{s},$$

де m – маса дерева; s – площа основи стовбура; g – пришвидшення вільного падіння).

Якщо висота дерева становить приблизно 50 м, а густина – $0,6 \text{ г/см}^3$, на квадратний сантиметр основи буде тиснути приблизно 30 Н.

Це навантаження можна продемонструвати так: покласти трикілограмову гирю на де-

рев'яну катушку з-під ниток, яка стоїть вертикально. Якщо збільшити всі розміри дерева, наприклад, у 100 разів, на катушці уже б опинилася трьохсоткілограмова гиря. Очевидно, що вона просто розчавить своєю вагою катушку.

Відомо, що висота дерев залежить від багатьох чинників: породи, віку, характеру ґрунту, рівня затіненості місця, кліматичних умов. Але дерево не може бути як завгодно велике. Найбільша величина висоти багатьох порід дерев – це 20–25 метрів. Деколи вона досягає 30–40 м. Дуже високими є евкаліпти, вони досягають 100 м.

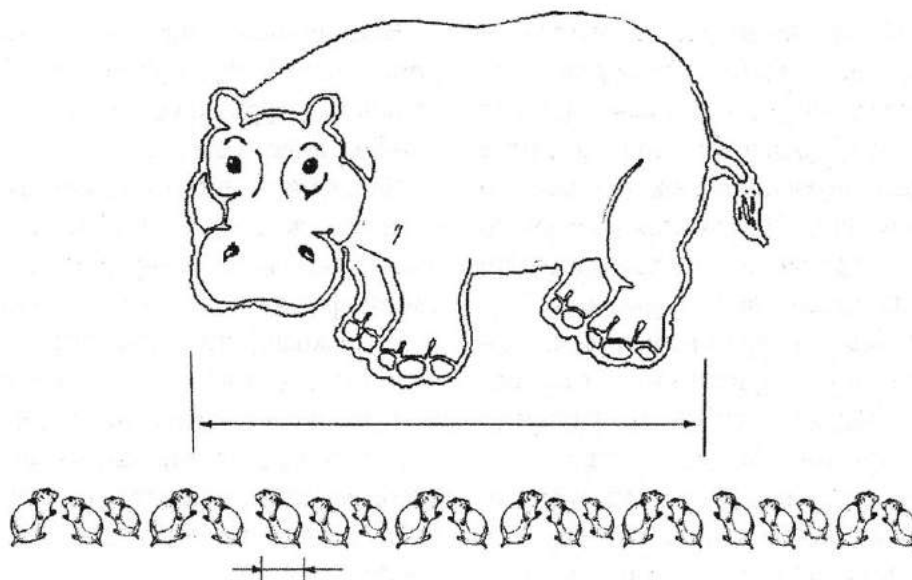
Наймініатюрнішим деревом є арктична карликова верба заввишки майже 6 см. А каліфорнійська секвоя (або ж червоне дерево) є найвищою.

Існує ще одне обмеження можливої висоти дерева: висота має бути такою, щоб соки могли піднятися стовбуром до найвищих гілочок.

Підніматися догори змушує соки осмотичний тиск. Він дорівнює приблизно $0,1\text{--}1 \text{ МПа}$, тобто $1\text{--}10 \text{ атм}$. Як відомо, вода під дією такого тиску піднімається на висоту $10\text{--}100 \text{ м}$, – ось і оцінка максимально можливих значень висоти дерев.

Щодо тварин – візьмемо, наприклад, бегемота і дрібного гризуна лемінга. Зовнішня форма тіла цих ссавців приблизно однакова, тому, здавалося б, можна розглядати бегемота як лемінга, збільшеного у 25 разів. Але навіть із суто механічного погляду це неправомірно.

У будові скелету тварин пропорції не зберігаються. У лемінга відносно тонкі кісточки, тоді як бегемот масивніший – могутні товсті



кістки ніг і хребет. Лемінг рухливий та граційний, а бегемот, навпаки, незграбний та неповороткий. Виходить, що кількісні зміни (розмірів тіла тварин) вимагали якісних змін – інших пропорцій скелета та іншого характеру поведінки тварини.

Все це легко можна пояснюється.

Якщо розміри бегемота в $n = 25$ разів більші від розмірів лемінга (довжина бегемота 5 м, а лемінга – лише 20 см), то маса бегемота буде в $n^3 = 15625$ разів більша від маси лемінга. Якщо припустити пропорційність у будові скелетів цих тварин, то ми мали б зробити висновок, що площа поперечного перерізу кісток ніг бегемота лише у $n^2 = 625$ разів більша, ніж у лемінга. Та в такому випадку кістки бегемота відчували б у $n = 25$ разів більше навантаження (тиск). Природньо припустити, що у бегемота міцність кісток приблизно така ж, як і у лемінга. Отже, вони розраховані на такий самий тиск. Звідси напрашується висновок: площа поперечного перерізу кісток бегемота не в n^2 , а в n^3 разів більша.

Відтак, за умови переходу від лемінга до бегемота довжина кожної кістки зростає в $n = 25$ разів, а її товщина в $\sqrt{n^3} = 125$ разів. Тобто, співвідношення довжини кістки до її

діаметра не зберігається, а зменшується (у 5 разів) – кістки і весь скелет загалом стають значно масивнішими.

У будь-якої тварини зі збільшенням її розмірів кістки і м'язи кінцівок отримують щоразу більше навантаження, відповідно, до цього мають бути пристосовані їхня форма і будова.

У чотириногих кожна кістка кінцівки має переносити вагу мінімум 1/4 маси тіла, та крім того, потрібний ще й великий запас міцності, щоб тварина могла пересуватися. Внаслідок цього ноги слонів і великих динозаврів набули форми та розмірів стовбура дерева.

Гіпотетична тварина масою 140 т мала б складатися з одних кісток і рухатися не могла б.

Отже, в своїх дивовижних книжках про мандрю Гулівера до ліліпутів або велетнів Джонатан Свіфт згрішив проти фізики? Це справді так.

Його велетні у 12 разів більші від звичаної людини. За законами фізики, людиноподібна істота висотою понад 20 м мала б мати масивний скелет, що, ймовірно, зламався б під дією її ваги.

Тут доцільно згадати думку Галілео, яку він висловив у XVII ст. (ще до народження Свіфта): "... Той, хто забажав би зберегти у велет-



неві пропорції звичайного людського тіла, – зауважив учений, – мав би знайти для побудови кісток якусь іншу, міцнішу речовину, або змиритись із тим, що велике тіло володітиме міцністю порівняно меншою, ніж тіло людини звичайної величини. Збільшення розміру до надзвичайного призвело б до того, що тіло зламалося б під вагою своєї власної маси”.

Галілей зробив правильний висновок: “Досягнути надзвичайної величини тварини могли б лише тоді, коли їхні кістки змінилися б, ставши значно товстішими, через що тварини за будовою і зовнішнім виглядом справляли б враження надзвичайних товстунів”.

Отже, тварина величезного розміру обов’язково має бути товстою і неповороткою. У боротьбі за існування така тварина має деякі переваги над дрібнішими – вона може їх подолати під час бою або ж відлякати своїм страхотливим виглядом.

Великі розміри тіла мають і принципові незручності. Потреба в їжі зростає пропорційно до об’єму тіла, а можливості її добування зменшуються (внаслідок зниження рухливості).

Отже, ми бачимо, що закони механіки визначають деяку межу розмірів тварин. Їхня масивність і неповороткість призводять до того, що, починаючи з деякої величини тварини, їй потреба в їжі стає більшою від здатності цей харч здобути. Такий вид неминуче приречений на вимирання. Колись на Землі існували велетенські плазуни. Вони виявились нежиттєздатними і врешті-решт вимерли. Нині серед сухопутних тварин найбільшими є слони.

Досі найбільшою твариною на Землі палеонтологи вважають древнього ящера брахіозавра, маса якого, очевидно, досягала 80 т. Із відомих науці ссавців наймасивнішим був белуджітерій – безрогий носоріг, що важив майже 30 т. Маса сучасних слонів дуже рідко перевищує 10 т.

Найдрібнішою наземною хребетною твариною є жаба *Raedophryne* (8–11 мм), а найбільшою – африканський слон: довжина тіла – 6–7 м, висота до 3 м.

Еволюція за мільйони років створює все досконаліші живі організми і не дивно, що саме ссавці, які є найрозвинутішими, є лідерами за своїми фізичними можливостями.

Зауважимо, що в морі фізичні умови існування інші, ніж на суші. Сила тяжіння врівноважується там виштовхувальною силою. Тому не дивно, що в морях багато великих тварин і риб. За менш масивного скелету кит має більші розміри, ніж слон чи бегемот (до 30 м завдовжки).

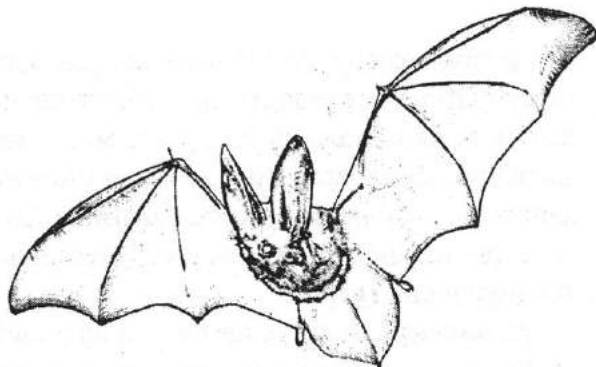
Найбільший мешканець океану, синій кит, важить у 30 разів більше від середнього слона, найбільшої сухопутної тварини. Кити, що викинулись на берег, найчастіше гинуть від задухи, оскільки величезна вага їхнього тіла, позбавленого опори, стискає їм легені.

Морські тварини витрачають менше енергії, ніж мешканці суші на подолання сили тяжіння, зате більше використовують її для переміщення, оскільки живуть у щільнішому середовищі.

Повітря є менш сприятливим середовищем для існування тварин. Щоб піднятися з землі в повітря, потрібно подолати тяжіння Землі для всієї маси тіла, і що більшою буде маса, то більша потрібна буде сила. Та оскільки сила тварини пропорційна до розвитку м’язової тканини, то зі збільшенням сили збільшується і вага тварини, що потребує нового збільшення сили.

Внаслідок такого співвідношення між силою тварини і її вагою повітряні тварини взагалі вирізняються невеликим розміром.

Наприклад, у класі птахів, а також серед тварин, пристосованих до існування в повітрі, найбільші птахи (страус, казуар) або зовсім не можуть літати, або ж літають дуже погано (яскравий приклад – кури).



Єдині ссавці, що справді здатні літати – рукокрилі. Наприклад, кажани. Вони вирізняються малими розмірами тіла. Найменший кажан (так званий свиноносий, названий так через своєрідну форму мордочки) має розміри тіла майже 3 см, а найбільший (гігантська летюча лисиця) досягає 55 см довжини з розмахом крил до 1,8 м.

Очевидно, що Свіфтові велетні мають бути нежиттєздатними.

А ліліпути?

Чи має фізика заперечення проти ліліпутів?

Має.

З погляду законів механіки тут усе гаразд. Заперечення виникають, коли ми звертаємось до питання теплообміну.

Що відрізняє ссавців і тварин від інших живих істот?

Те, що температура тіла у них майже постійна і не залежить від коливань температури довколишнього середовища та може бути значно вищою від неї.

Недаремно ссавців і птахів називають теплокровними – на відміну від холоднокровних, у яких температура тіла лише трішки вища від температури середовища і змінюється разом із нею.

Нормальна температура тіла людини майже 37 °С, у слона температура – 35 °С, у собаки – 39 °С, температура птахів у середньому дорівнює 42 °С.

Постійність температури тіла теплокровних забезпечується спільною дією механізмів нагрівання та охолодження організму.

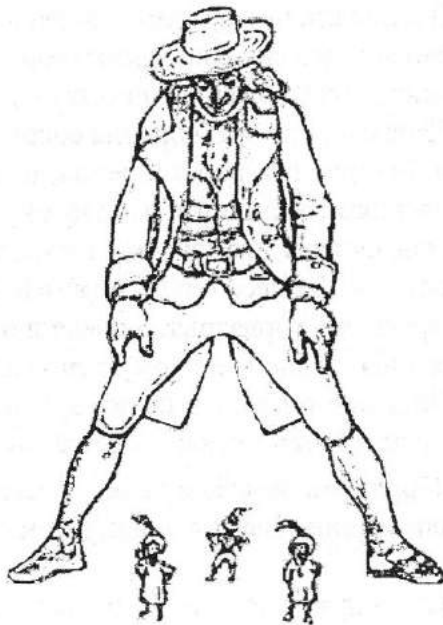
Різноманітні перетворення енергії в організмі (наприклад, перетворення, пов'язані з травленням, диханням або м'язевою діяльністю) призводять до виділення тепла, тобто до нагрівання. Процеси тепловіддачі в довколишнє середовище призводять, очевидно, до охолодження. Якщо у нашому тілі виділяється надлишкове тепло, ми потіємо, тобто, вмикаємо додатковий механізм охолодження.

Порівняймо коня і звичайну польову мишу, оскільки вони живуть в одному кліматичному поясі.

Кінь – дуже спокійна (у звичайних ситуаціях) тварина, а миша весь час у русі, метушні. Кінь за хвилину вдихає об'єм повітря, що становить менше від однієї соті частини об'єму тіла, а об'єм повітря, що вдихає за хвилину миша, перевищує об'єм її тіла. Усе це вказує на те, що в тілі миші обмін речовин відбувається набагато інтенсивніше, ніж у тілі коня. До того ж у миші ефективніший шерстяний покрив, а відтак, краща теплоізоляція.

Зменшення розмірів тіла у теплокровних тварин природа компенсує посиленням обміну речовин і поліпшенням теплоізоляції. Очевидно, що можливості подібної компенсації небезмежні, рано чи пізно вони вичерпаються, і тоді подальше зменшення розмірів тіла теплокровних стане неможливим. Ось чому можна казати про найменшого сухопутного ссавця. Ним є миша-землерийка, довжина її тіла – 3–5 см, маса від 2 до 10 г. Зауважимо, що в морі тепловіддача значно краща, тому там невелика кількість ссавців, які живуть у воді, мають відносно великі розміри.

Можна було б також проаналізувати зростання розмірів. Якщо надто дрібні ссавці не здатні себе обігріти, то дуже великі, будуть, отже, занадто сильно потіти і не в змозі себе



оохолодити. Дуже дрібним тваринам загрожує смерть від холоду, а дуже великим – від теплового удару.

Проте практично теплового удару боятися не потрібно: із зростанням розмірів тварин,

перед тим, коли наступить перегрівання організму, відбудеться недопустиме зростання механічних навантажень на організм. Відтак, зверху розміри тварин обмежені законами механіки, а знизу – законами теплофізики. Суттєво, що нижче обмеження стосується лише теплокровних тварин.

Насамкінець згадаємо ще раз ліліпутів Свіфта. Враховуючи перелічене вище, підсумуємо, що люди зростом приблизно 10 см навряд чи могли би існувати. У будь-якому разі їм доводилося б дуже часто дихати, безперервно харчуватися, постійно рухатися і при цьому бути тепло одягненими. Отже, для тіла людини існуючі розміри – не лише оптимальні, а й єдино можливі. Велетні та ліліпути, як і найрізноманітніші гноми, дюймовочки і хлопчики-мізинчики – всі вони можуть бути лише казковими персонажами.

Відтак, закони механіки і термодинаміки безпосередньо впливають на розміри, зовнішній вигляд і спосіб існування живих організмів.

А знаєте Ви що...

А знаєте Ви що...

Фізик-кіборг

Український учений, харківський фізик-теоретик Дмитро Сорока став кіборгом та уже півроку воює в зоні АТО. Він керує зенітно-артилерійним взводом на Донбасі. Два місяці він відбивав щоденні атаки терористів у Донецькому аеропорту.

Під час короткочасної відпустки учений, який колись сам закінчив Харківський національний університет ім. В. Каразіна, прочитав студентам лекцію не про наукові дослідження в ЦЕРНі, а як вести себе в екстремальних умовах. В аудиторії, де студентом вивчав матаналіз, нині розповідає про те, що допомогло вистояти на фронті: дитячі малюнки, гумор і досвід роботи в науці. Підібрати добрий колектив і правильно оцінити всі ризики важливо і в ядерній фізиці, і на війні. Український фізик брав участь у розробленні обладнання для адронного колайдера в ЦЕРНі.

Коли його студенти запитали, чи варто йти добровольцем на фронт, Дмитро Сорока відповів: "Поки воюємо ми. А фронт студентів нині не на Донбасі, а в науці."

Цього року делегація українських фізиків-ядерщиків поїхала до ЦЕРНу без Дмитра Сороки...



МУЗЕЙ НАУКИ І ТЕХНІКИ У ЛЬВОВІ У ПЕРСПЕКТИВІ

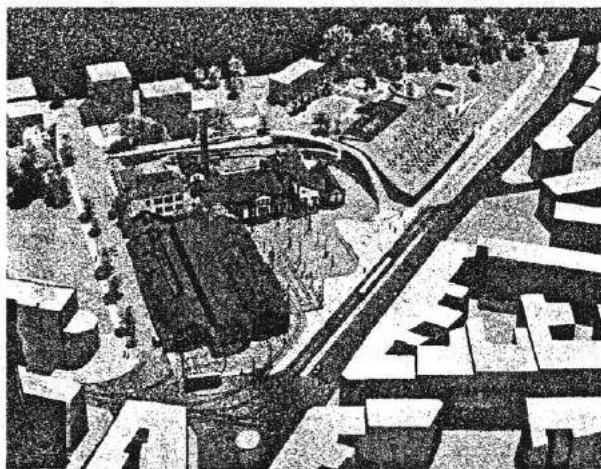
М. Шингельський,

завідувач відділу Львівського історичного музею

Яким мав би бути Музей науки і техніки у Львові?

Насамперед – самоокупною державною установою, що сформована за принципом самодостатності. У нашому місті є всі умови для створення такої культурологічної структури. Починатися Музей може на території колишнього електричного трамвайного депо на вул. Вітовського, 57. Сама будівля трамвайного депо є пам'яткою промислової архітектури, тому перебуває під охороною держави. Увесь комплекс споруд депо є музейним експонатом.

Першим етапом у здійсненні ідеї створення у Львові Музею науки і техніки має стати реставрація першого ангару від вул. Героїв Майдану і розміщення в ньому першої експозиції Музею. Цьому сприятиме те, що для Львівського комунального підприємства “Львівелектротранс” потрібна нова технічна база, яку можливо створити на новому місці з відповідним сучасним забезпеченням. Вивільнені приміщення можна задіяти під розширення експозиційних площ Музею.



У центральній експозиційній залі доцільно розмістити експозицію “Земля і Космос”. У центрі зали – макет нашої планети Земля діаметром 2,5 метра, яка вільно обертається в повітрі довкола своєї осі в повітрі.

Не менше цікавим для відвідувачів буде побачити структурні складові Землі: її поперечний розріз із представленням сучасних гіпотетичних уявлень внутрішньої будови; атмосферу Землі, вулкани; гейзери; періоди формування планети в контексті сучасних уявлень; розташування Землі в Сонячній системі; галактичне розташування Сонячної системи; полярні льодовики півдня і півночі, північні саява (рухома проекція на екрани).

У наступних залах можна розташувати космічну техніку, планетарій, зразки електроніки, радіо, телебачення, телефонного і телеграфічного зв'язку, харчової і легкої промисловості. Належний рівень технічних служб і науковців Музею забезпечить функціонування в ангарі науково-технічних гуртків для студентів і школярів.

Наступним кроком у розвитку Музею науки і техніки у Львові є пристосування приміщень, що розташовані на “Цитаделі” (гора Шембека чи Вроновського), та будівництво нових павільйонів для розташування там експозицій великогабаритної техніки: автобуси, трамваї, тролейбуси, макети технічних споруд Львова, Рівного, Луцька, Івано-Франківська, Ужгорода, Калуша, Сокаля, Кам'янець-

Яким мав би бути Музей науки і техніки у Львові?



Подільського, Роздолу, Дрогобича, Стрия, Борислава та інших індустріальних районів. Реально створити макети підприємств, які працювали в XVIII–XIX ст.: горілчаної фірми Бачевського, кахельної фірми Лозинського, бориславських нафтових копалень, Дрогобицького і Львівського нафтопереробних заводів, Львівської пивоварні, львівських кондитерських фабрик, цегельного заводу, водяних млинів тощо.

Комплекс фортифікаційних споруд на “Цитаделі” є пам’яткою військових укріплень середини XIX ст. У межах майбутнього Музею там може бути меморіал, присвячений революційним подіям 1848 року, Першої та Другої світових воєн.

Експозиція майбутнього Музею науки і техніки могла б мати продовження у Парку культури і відпочинку ім. Б. Хмельницького. Він ідеально підходить для розташування атракційних технічних засобів розважального бізнесу. Добре збережені старовинні ігрові апарати нададуть більшої ваги сучасним атракціям. Існуюча дитяча залізниця в Стрийському парку проляже тунелями, що з’єднуюватимуть розважальні комплекси у Парку культури і відпочинку ім. Б. Хмельницького.

Запропоновані комплекси Музею науки і техніки об’єднає в одне ціле монорельсова дорога, яка починатиметься на вул. Героїв Майдану за ангарами колишнього трамвайного депо. Естакада проляже над вулицями Героїв Майдану, Вітовського, Стрийською. Від першої станції, з умовною назвою “Музейна”, монорельсова дорога, перетинаючи вул. Героїв Майдану, попрямує в бік гори Цитадель над вул. Вітовського. На Цитаделі будуть розташовані три станції: “Меморіал”, “Індустрі-

альна” і “Заводська”. Той, хто їхатиме далі, перетне вул. Вітовського та опиниться в парковій зоні з комплексом історичних і сучасних атракціонів.

Монорельсова дорога не обмежуватиметься Парком ім. Б. Хмельницького, а перетне вул. Стрийську і проходитиме над Стрийським парком, де на території колишніх Східних Торгів функціонуватиме Львівський Діснейленд (Disneyland) – станція “Діснейленд”. Львівський Діснейленд можна спроектувати, виходячи з власних вимог і можливостей.

У Стрийському парку є занедбані яри (урвиська), в одному з яких міг би розміститися чималих розмірів скляний павільйон – ботанічний сад субтропічних рослин (станції “Дендрарій”). Висота павільйону досягала б 40 метрів, що давало б змогу вирощувати дерева і рослини тропічної і субтропічної зон.

Охоплюючи Парк культури і відпочинку ім. Б. Хмельницького, монорельсова дорога замикала б коло, перетинаючи вул. Героїв Майдану і повертаючи на початкову станцію “Музейну” поряд з Музеєм науки і техніки.

Такий комплекс Музею науки і техніки у Львові з сучасною науковою і технічно-індустріальною структурою та транспортним забезпеченням був би максимально ефективним для відвідувачів з пізнавальною метою, улюбленим місцем проведення дозвілля не лише для львів’ян, а й для чисельних туристів. Завдяки комплексному охопленню різних галузей науки, техніки, промисловості, сільського господарства, культури, історії, мистецтва, гармонійному поєднанню минулого і сучасного можна досягти максимального відвідування Музею і його фінансового самозабезпечення¹.

¹Такі сучасні музеї можна зустріти в багатьох європейських країнах. Можливо, великі мрії та напрацювання автора зацікавлять керівництво міста та країни, до яких долучаться українські меценати, й у надзвичайно цікавому старовинному Львові постане сучасний Музей, що популяризуватиме науку і техніку, сучасні наукові досягнення серед широкого загалу, особливо серед молоді (ред.).



ТАЛАНОВИТИЙ ФІЗИК І СПРАВЖНІЙ ПАТРІОТ УКРАЇНИ

Галина Шопа,

Львівський національний університет імені Івана Франка



*Орест-Степан Григорович Влох
(02.07.1934–06.06.2009)*

Орест-Степан Григорович Влох як Народний депутат Верховної Ради України першого демократичного скликання (1990–1994) був одним із тих, хто проголосував незалежність України, один із засновників Народного руху та першим головою Львівської крайової організації Руху (1989–1991).

О. Влох – видатний український фізик, доктор фізико-математичних наук, професор, академік та один із співзасновників Академії наук вищої школи України, дійсний член Наукового товариства імені Шевченка, член Міжнародної спілки кристалографії, Українського фізичного товариства, Міжнародного товариства оптичної техніки.

Знаю!

Людство повинно вірити.

Як батько – сину, як мати – доньці.

Тоді – ані білі, ні чорні лірники

його – не повернуть на манівці...

Під вагою сум'яття – себе не згинаю,

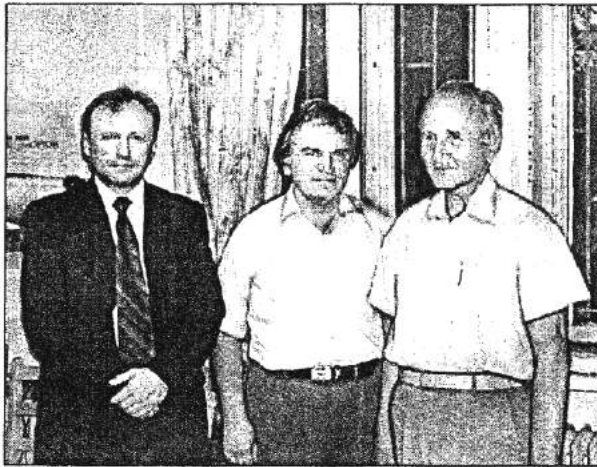
не схиляю в безпам'ятстві голови.

Орест Влох

Влох Орест-Степан Григорович народився 2 липня 1934 року в м. Винники Львівської області. Його батько Григорій Олексійович і мати Ольга Степанівна були селянами. Вони були справжніми українськими патріотами і так само виховали своїх дітей.

О. Влох навчався у Львівському державному університеті імені Івана Франка на фізичному факультеті, який закінчив 1957 року. Далі продовжив навчання в Москві в аспірантурі Інституту кристалографії АН СРСР.

Свою наукову і педагогічну діяльність Орест Григорович розпочав у Львівському університеті: лаборант (1957–1959), асистент (1963–1965), доцент кафедри експериментальної фізики (1965–1979), завідувач кафедри нелінійної оптики (1979–1995), директор Інституту фізичної оптики МОН України (1992–2009). Він 1963 року захистив кандидатську дисертацію: “Електрооптичні властивості деяких кристалів” у Львівському державному університеті імені Івана Франка, 1978 року – докторську: “Параметричні явища у кристалооптиці (електрооптика і електрогірація)” в Інституті кристалографії АН СРСР.



Ростислав Влох, Орест Влох, Лев Луців-Шумський (Львів, 2007) (зліва направо)

Світовий авторитет ученого Орест Влох здобув відкриттям явища електрогірації в кристалах і низки нових оптичних ефектів.

Електрогірація – це ефект просторової дисперсії. Він полягає у виникненні або зміні оптичної активності (гірації) в кристалах під дією постійного або змінного електричного поля. Термін “електрогірація” уперше запропонував японський фізик К. Аїзу. Одночасно з К. Аїзу, російський фізик І. С. Жолудев 1964 року описав електрогірацію на основі симетричного підходу і тензорних співвідношень.

Як явище просторової дисперсії – електрогірація відрізняється від добре відомого ефекту Фарадея поведінкою приросту оптичної активності під час зміни знаку хвильового вектора, тобто під час електрогіраційного ефекту приріст оптичної активності змінює знак зі зміною знаку хвильового вектора, а під час ефекту Фарадея – ні.

Орест Влох 1969 року вперше експериментально виявив електрогіраційний ефект, індукований електричним полем у кристалах кварцу і визначив коефіцієнти квадратичної електрогірації.

Він разом із російським фізиком І. Жолудєвим 1969 року отримали свідоцтво про відкриття “Явище електрогірації в кристалах” (№ 211).

Наукові праці й винаходи О. Влоха присвячені також фізиці твердого тіла, оптичному матеріалознавству, параметричній кристалооптиці, структурним фазовим переходам у сегнетоелектриках і сегнетоеластиках, кристалам із неспівмірно модульованою структурою, оптичним методам запису і передавання інформації, поляриметрії, спектроскопії, радіоекології, історії фізики. Вони залишилися вагомим внеском в українську науку, її утвердженні на світовому рівні.

О. Влох був засновником журналів “Наукові обрії” (1998), “Українського журналу фізичної оптики” (2000, англ.; гол. ред.), членом редколегій журналів “Науковий світ”, “Функціональні матеріали” (англ.).

За великі наукові успіхи О. Влоха 1991 року нагородили званням Заслуженого діяча науки і техніки України, а також він був відзначений багатьма нагородами, серед них диплом пошани ВДНГ УРСР (1981), золота медаль ВДНГ СРСР (1984), орден “За заслуги” III ст. (1997), “Нагорода Святого Володимира” АН ВШУ (1998), срібна медаль і диплом “За досягнення в ХХ столітті” (1998, Кембридж, Міжнар. біограф. центр).

Учений є автором понад 550 наукових праць із питань параметричної кристалооптики, фізики сегнетоелектриків, сегнетоеластиків, кристалів з неспівмірно модульованою структурою, спектроскопії, радіоекології, історії фізики, зокрема 40 винаходів і патентів, трьох монографій і навчальних посібників: “Електродинаміка в нелінійній оптиці” (1983), “Явлення просторової дисперсії в параметричній кристалооптиці” (1984), “Кристалічні діелектрики з неспівмірно модульованою структурою”. Підготував понад 50 кандидатів і докторів наук.

Пам’ять про видатного українського фізика продовжує жити. Сьогодні Інститутом успішно керує його син Ростислав Орестович Влох, який пішов слідами талановитого батька і продовжує його справу. Наукові напрями, над яки-



ми працював Орест Григорович, продовжують його учні та колеги.

На фасаді будинку по вул. Драгоманова у Львові, де розташований Інститут фізичної оптики, 2009 року урочисто відкрили пам'ятну дошку.

Інституту фізичної оптики МОН України, засновником і першим директором якого був Орест Влох, 2014 року присвоїли його ім'я.

Відкриваючи влітку 2014 року науковий семінар присвячений 80-річчю від дня народження О. Г. Влоха, директор Західного наукового центру НАН України і МОН України, академік НАН України Зіновій Назарчук пригадав, як під час навчання у Львівському університеті, на фізичному факультеті, часто відвідував лабораторію нелінійної оптики, яку очолював Орест Влох. Зазвичай це було вранці, перед парами. “Коли я в черговий раз прийшов у лабораторію, то застав таку картину: сидить Орест Григорович, непорушно, перед відчиненим вікном. Перша думка – дрімає. Ні, повернувся до мене, студента, і сказав, що ми ж маємо експерименти робити. А експерименти народжуються в голові. Це було – не “давай спробуємо, може, щось із того вийде”. А – “перевірю думку, гіпотезу, яка в мене зародилася”. Ось так він, принаймні, навчав нас. Упродовж життя ми, його учні, намагаємося так робити”, – зізнався академік Назарчук.

Він розповів, що Орест Григорович був закоханий у нелінійну оптику. Тому й лекції, які читав студентам, були не монотонні й сумні, а дуже динамічні.

Про засновника Інституту фізичної оптики та Академії наук вищої школи України тепло згадував доктор фізико-математичних наук Максим Стріха. “Пам'ятаю зустрічі й гарячі дискусії на початку 1990-х. Люди, які створювали, а пізніше й розбудовували Академію наук вищої школи (серед перших була родина Влохів), щиро хотіли надати нового поштовху для розвитку української науки... Зрештою, те, що Інститут фізичної оптики й нині активно працює, в доброму сенсі наукова спадковість, – вважає він. – Адже попри зовсім невеликі геометричні розміри (якщо порівнювати з багатьма академічними інститутами), установа видає журнал “Ukrainian journal of physical optics” із дуже високим для України імпаکت-фактором за версією Thomson Reuters ISI – 0,704 у 2013 році. Це добрий показник того, що тут робиться справжня наука.”

Як згадували його колеги Орест Влох був дуже наполегливий у роботі, глибоко знав предмет своїх досліджень, в експериментах використовував прецизійні методики, які згодом розвинулися в напрям високоточної поляриметрії. Непересічна, рішуча особистість...

Орест Григорович захоплювався наукою, поезією, музикою, писав вірші, любив подорожувати.

*“Дай, доле, мужності і волі
твоєму воїну у полі;
щоб він у бій ішов без брону,
і не боявся бурелому;
щоб ні хула, ні похвала
його з дороги не звела;
щоб він з печалі ані з люті
не утопився у Салюті.
Щоб він стояти міг один
супроти – тисячі людей.”*



НОВИНИ ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ

Шлунок кошеняти має розмір наперстка. Відтак, ті два літри молока, які котик випиває за годину, в його шлунку будуть під тиском 50000 атмосфер.

А це в десять разів більше від тиску в центрі ядерного вибуху!



ЗАДАЧА В МІСЯЧНУ НІЧ

Студент Кембриджського університету, гуляючи в місячну ніч з дівчиною вздовж побережжя озера, намагається розрахувати кут відбивання місячного світла від поверхні води.

Допоможіть йому це зробити.

Коефіцієнтом поглинання води, а також тим, що дівчина може образитися і піти, знехтуйте.

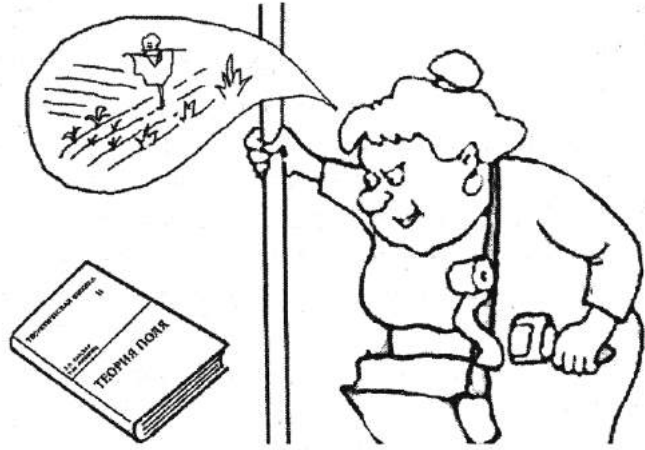


ТЕОРІЯ ПОЛЯ

На кінцевій станції кондуктор
Лпотяга оглядає вагони.

В одному з них бачить студента,
який спить, а поряд із ним
лежить книжка Лева Ландау
“Теорія поля”.

Кондуктор будить студента:
– Вставай, агроном, приїхали!



ДОРОГІ ФІЗИКИ

Ректор університету, ознайомившись із кошторисом, який приніс
йому декан фізичного факультету, зітхнув і сказав:

– Чому фізики постійно вимагають такого дорогого обладнання?
Ось, наприклад, математики просять лише гроші на папір, олівці
та гумки.

Подумавши трохи, додав:

– А філософи ще кращі – їм навіть гумки не потрібні.



ЗВУК У ВАКУУМІ

Тато на батьківських зборах намагається
виправдати погану успішність сина:

– Ну що поробиш? Василькові в одне вухо
влітає, а з іншого вилітає...

На це вчитель фізики відповідає:

– Неправда. Звук у вакуумі не поширюється.



Медичні застосування плазми

Плазмою називають йонізований газ, що складається з позитивних йонів і електронів. Наявність заряджених частинок, суттєво змінює властивості цього газу, тому фізики вважають плазму четвертим станом матерії.

У космосі матерія переважно існує у вигляді плазми, однак на Землі вона зустрічається доволі рідко. Прикладами явищ, в яких можна за земних умов спостерігати виникнення плазми, є блискавка та північне сяйво.

Плазму для технічних цілей створюють штучно. Її застосовують у багатьох галузях техніки, а також у медицині. Плазму вже тривалий час використовують для стерилізації медичного обладнання та імплантантів. Це пов'язано з високою бактерицидною ефективністю, а також легким доступом плазми у вузькі, важкодоступні місця та проміжки.

В останні роки створено технологію отримання так званої холодної атмосферної плазми, температура якої є нижчою від 40 °С. Це дало змогу використовувати плазму до живих тканин.

Наприклад, стало можливим доставляти ліки безпосередньо на молекулярному рівні, а в майбутньому – на клітинному.

Лікування з використанням плазми – це нова галузь, і є об'єктом міждисциплінарних досліджень медицини, біології, фізики, хемії та інженерії.

Лікарняна гігієна, в якій простежується зростання кількості стійких бактерій, вимагає швидкої та ефективною стерилізації. Громадські будівлі можна було б так само стерилізувати. Наприклад, медсестри у школах

могли б застосовувати пристрої, які використовують для цього плазму.

Плазмові установки можуть істотно допомогти в лікуванні грибкових захворювань. Це важливо, оскільки від грибкових захворювань ніг страждають 25–40 % населення Європи, США та Японії.

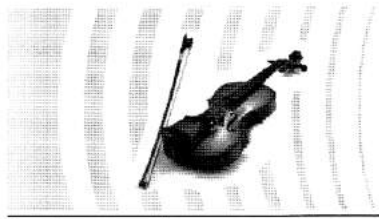
Інший приклад – це стоматологічна допомога. 23 % людей старше 65 років, і понад 75 % вагітних жінок страждають через пародонтит. Такі інфекції підвищують ризик захворювань серця і можуть призвести до інших медичних ускладнень. Плазма, завдяки проникненню в мікроскопічні проміжки між зубами і деснами, є ідеальним кандидатом для профілактики та лікування зубів.

Більшість дерматологічних проблем (від прищів вугрової висипки, запалень шкіри, свербіння до судинних захворювань), пов'язаних з бактеріями або грибами, успішно можнавилікувати або зменшити за допомогою плазми.

Плазма може також допомогти під час лікування хронічних ран, усуваючи бактерії і грибки, забезпечуючи швидке відновлення здоров'я. Це важливо, тому що приблизно 1 % населення в розвинених країнах страждає від хронічних ран.

Лікування плазмою в косметичці можна використовувати під час реструктуризації тканин і відбілювання зубів.

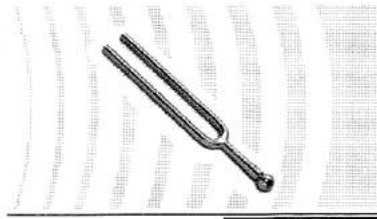
Фахівці передбачають також інші застосування, зокрема очищення крові, фармацевтичні процеси, а також лікування раку – боротьба з раковими клітинами без шкоди для здорових клітин.



РЕЗОНАНСИ

Асоціації та афоризми

з колекції
проф. Ярослава Довгого



1. **Філософія нелінійностей**))))))) ■
Минуле не минає, а триває в наступних поколіннях. Це є передумовою нелінійності часу, відтак інших нелінійностей.
2. **Геометрична казка**))))))) ■
„Любов Циркуля і Лінійки” – цю казку написав Шарль Перро (автор „Червоної Шапочки”).
3. **Умова рівноваги**))))))) ■
Людство зачароване нестримним злетом науки, і лише мистецтво спроможне повернути його до реальності.
Бернард Шоу
4. **Системи одиниць**))))))) ■
– Аспірант Юрій К. здобув перемогу на міжнародному науковому конкурсі з нанофізики. Йому вручили, крім диплома, ще й грошову винагороду 500 мільярдів нанодоларів.
– Ого, то Юрко став мільярдером!
– Не мільярдером, а наномільярдером.
Усяке звеличення залежить від вибраного масштабу, від системи одиниць...
5. **Константа поетичного світу**))))))) ■
Німецький поет Ганс Магнус Еценсбергер стверджував, що у кожній мові, незалежно від того, скільки людей нею розмовляє, кількість справжніх шанувальників поезії постійна і становить три тисячі осіб.
6. **Вірити чи не вірити?**))))))) ■
– Ви вірите, що підкова на дверях вашої оселі приносить щастя? – запитали знаного інтелектуала.
– Звичайно ж, не вірю! Але кажуть, що вона допомагає навіть тим, хто в неї не вірить.
7. **Хитрість чи розум?**))))))) ■
Хитрість – спосіб думок дуже обмежених людей і дуже відрізняється від розуму, на який зовні скидається.
Іммануїл Кант
8. **Роль повторного сприйняття**)) ■
Недавно я вже втретє передивився фільм „Тіні забутих предків”.
І що цікаво: щоразу актори грають все краще і краще.
9. **Ефект Фано**))))))) ■
Промовисте мовчання або дієва відсутність – це резонанси (чи антирезонанси) на тлі континууму людських взаємин.
10. **Причина чи наслідок?**))))))) ■
– Пане, скажіть, з вашої ферми не крадуть?
– Ні.
– А чому біля складу висить рушниця?
– Отож-бо!..



Не забудьте передплатити науково-популярний журнал “Світ фізики”, попередні числа видання можна замовити в редакції журналу за адресою: вул. Саксаганського, 1, м. Львів, 79005, а/с 6700; phworld@franko.lviv.ua

200 років
Тієї, що народилася
Тараса
Шевченка

Тарас Шевченко
(1814–1861)
Дуб.
Офорт,
акватинта. 1860



...Схаменіться, недолюдки,
Діти юродиві!
Подивіться на рай тихий,
На свою Україну,
Полюбіте щирим серцем
Велику руїну!
Розкуйтеся, братайтеся,
У чужому краю
Не шукайте, не питайте
Того, що немає
І на небі, а не тільки
На чужому полі...
В своїй хаті – своя правда,
І сила, і воля!
Нема на світі України,
Немає другого Дніпра...

...Обніміте ж, брати мої,
Найменшого брата, –
Нехай мати усміхнеться,
Заплакана мати!
Благословіть дітей своїх
Твердими руками,
І обмитих поцілуйте
Вольними устами!
І забудеться срамотня
Давня година,
І оживе добра слава,
Слава України,
І світ ясний, невечерній,
Новий засіяє...
Обніміться ж, брати мої,
Молю вас, благаю!

Тарас Шевченко.
До мертвих і живих, і ненароджених земляків моїх...