

С В І Т

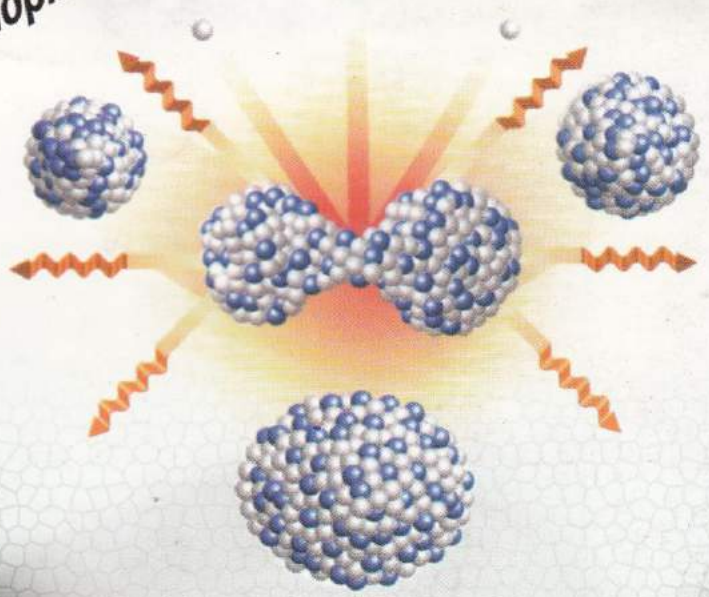
ФІЗИКУ

№3'99

науково-популярний журнал



Те, що ми знаємо, мізерно мало, порівняно з тим, чого ми не знаємо.
П'єр Сімон Лаплас





1 вересня 1999 року Львівський державний університет імені Івана Франка відвідав міністр закордонних справ України Борис Тарасюк, який взяв участь у святкових урочистостях з нагоди Дня знань та виступив перед викладачами і студентами університету. Він сказав:

“Шановні панове професори, викладачі, студентство, дорогі друзі!

Для мене як і для всіх Вас цей день є хвилюючим. Вітання Вам від ваших колег і друзів з Києво-Могилянської Академії та Інституту міжнародних відносин, які просили засвідчити Вам свою щирю повагу. Це не тільки вияв ввічливості, але й підтвердження єдності великої української академічної родини. І, найважливіше, що сьогодні, виступаючи перед Вами, а вчора зустрічаючись з викладачами та першокурсниками Києво-Могилянської Академії, я відчуваю той самий творчий запал, бачу схожі відкриті і щирі обличчя, в яких читаю готовність здобувати знання і змінити цей світ на краще.

Я радий, що мені випала нагода і честь саме в такий урочистий день виступити у стінах Львівського університету, чие ім'я та слава широко відомі у всьому світі. Мабуть кожному з нас часто доводиться чути звичну інтерпретацію ролі та місця України у світі: ми перебуваємо на перетині культурних та торговельних шляхів, через нашу землю пролягають зримі і невидимі єдинальні потоки з заходу на схід, з півночі на південь. Правильність цієї думки мало хто наважиться поставити під сумнів. Однак в українській історії існує приклад, який засвідчує, що покликання України полягає не в тому, щоб бути пасивним тлом, а передовсім бути активною у власному поступі силою, що ґрунтується на цінностях національного життя та втіленні надбань зовнішнього світу. Таким прикладом багато хто вважає Львів.

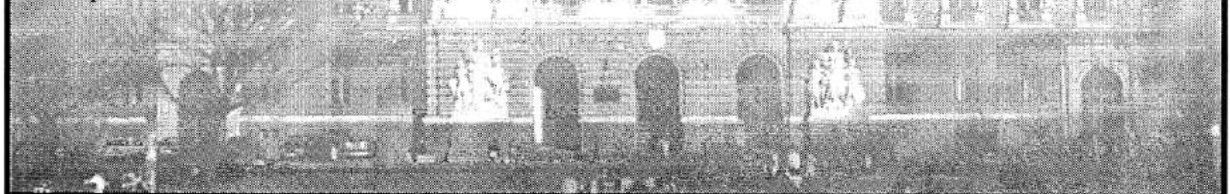
Сила Вашого міста не мислима та неможлива без Вашого університету, з його іменем пов'язані долі багатьох людей, що стали символами єдності всього українства — Маркіян Шашкевич, Іван Франко, Михайло Грушевський — імена, які об'єднують Київ і Львів, Запоріжжя і Харків, Чернігів і Одесу і в цьому єднанні бачимо Україну.

...Говорячи про переплетіння шляхів проторованих через нашу державу, слід усвідомити, що в самій Україні непорушним завжди був зв'язок між містами, центрами думки і слова серед яких чільне місце посідає Ваше місто та університет.

У контексті історії та сьогодення української зовнішньої політики та дипломатії такий зв'язок особливо важливий, оскільки поєднання імен Володимира Винниченка і Євгена Петрушевича, Симона Петлюри і Петра Вітовського Олександра Шульгіна і Василя Панейка попри будь-яке історичне тло постають своєрідною часовою опорою для наших сучасних дій, сподівань і намірів.

Запрошення виступити у стінах вашого закладу, що заслужено має репутацію однієї з провідних української вищих шкіл, я сприйняв із особливим задоволенням. Адже загально відома роль Львівського державного університету у налагодженні культурних зв'язків з вищими навчальними закладами інших країн, у розвитку міжнародного співробітництва, а його випускників в утвердженні України у світі як цивілізованої демократичної європейської держави.

Щоразу, готуючись до поїздок по регіонах, я особливу увагу приділяю своїм зустрічам зі студентами та викладачами університетів. І річ не лише у тому, що у цій аудиторії збирається найбільш динамічна, духовно розкута, перспективна частина нашого суспільства, річ ще й в тому, що університетська аудиторія, то неодмінно сплав молодечої енергії та глибокого досвіду і знань. Озираючись сьогодні на історію України у контексті зовнішньополітичної проблематики, можемо констатувати, що саме брак такого сплаву, такої гармонійної збалансованості згаданих начал часто спичинявся до трагічних для нашої держави наслідків.”



СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

№3(7) '99

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

Виходить 4 рази на рік.

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерний набір і верстка
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:

редакція журналу "Світ фізики"
вул. Саксаганського, 1,
29005 м. Львів,
Україна

тел./факс 380 0322 72 68 11

sf@kft.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

На порозі XXI сторіччя...

Стабільність будь-якої держави визначає стан її освіти та науки, прогрес якої немислимий без розвитку фундаментальної освіти та науки, перспективних досліджень.

Для формування концепції та моделі української освіти XXI сторіччя необхідно об'єднати зусилля державних та незалежних організацій, різних освітніх закладів.

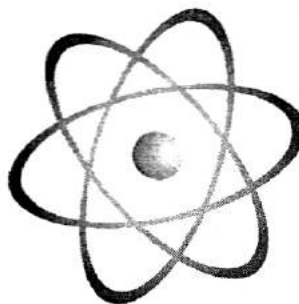
Уже найближчим часом потрібно здійснити аналіз стану і тенденцій розвитку освітньої системи України, оцінити її реальний рейтинг із застосуванням європейських та світових стандартів.

Інша проблема, яка зараз потребує нагального розв'язання, — це модернізація педагогічної освіти, впровадження нової концепції виховання Педагога.

Редколегія

*Користуючись нагодою
іти час перебування на
Львівщині, хотіли привітати всіх
мих журналу "Світ фізики",
всіх освітян з новими навчальними
роками і побажати нових великих
успіхів в науковій діяльності
і студентів, молодих науковців
у насшої молодій державі.
11.08.99 *Горобець**

Заступник міністра
освіти України
Ю. І. Горобець



Передплатний індекс 22577

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

© СП "Євросвіт"

ЗМІСТ

1. Нові і маловідомі явища з фізики

Болеста Іван. Реальні кристали

2. Фізика світу

Шопа Галина. П'єр Сімон Лаплас

3. Фізика України

Ранюк Юрій. Хто винайшов атомну бомбу

4. Актуальні проблеми...

Таращенко Дмитро. Фізика й астрономи б'ють на сполох

5. Нобелівські лауреати

Гальчинський Олександр. Відкриття мюонного нейтрино

6. Олімпіади, турніри...

Умови Всеукраїнської олімпіади з фізики (1999)

Задачі VIII Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків (2000)

7. Творчість юних

Хороз Володимир, Лесівців Віталій. Віртуальні м'ячі

8. Розв'язки задач

Всеукраїнська олімпіада з фізики (1999)

Львівська обласна олімпіада з фізики (1998)

9. Гумор

10. Реальність та фантастика

Природна стихія: землетрус

11. Спогади...

Спогади про Романа Ґайду

12. Університети світу

Львівський університет і його міжнародні контакти

3

10

14

21

23

26

29

31

34

38

45

46

47

48



РЕАЛЬНІ КРИСТАЛИ

Іван Болеста

професор Львівського державного
університету імені Івана Франка

Кристалічний стан речовини

Кристалом називають тверді тіла, для яких характерна впорядкованість внутрішньої будови. Завдяки цьому кристали володіють тривимірною періодичною просторовою структурою і за певних умов обмежені плоскими поверхнями — гранями. Макроскопічним виявом періодичності структури є огранення кристалів, тобто формування кристалів — правильних симетричних багатогранників, під час вирощування їх з водних розчинів, газової фази та у деяких кристалів, що виростили в природних умовах. Кристали можуть і не мати форми правильного багатогранника, але вони володіють певними макроскопічними характеристиками, які відрізняють їх від інших твердих тіл.

Основними макроскопічними ознаками кристалічного стану є *однорідність*, *анізотропія*, *симетрія*. У їх розгляді не враховується мікроскопічна неоднорідність будови кристала, яка пов'язана з дефектами, коливаннями атомів тощо.

Однорідність кристалічного стану означає, що в довільних точках кристала його властивості (скалярні, векторні, тензорні) тотожні. Отже, якщо з одного кристала вирізати два однаково орієнтовані кубики (зразки для вимірювань), то всі фізичні, фізико-хімічні та інші властивості цих зразків будуть однаковими. Тобто однорідність — це інваріантність властивостей кристалічного стану відносно довільного переносу початку координат. Це поняття дає змогу розглядати кристал як суцільне однорідне середовище і описувати багато фізичних властивостей, не використовуючи уявлення про дискретність будови кристала.

Умова макроскопічної однорідності може бути використана також для рідин, газів, аморфних та склоподібних матеріалів і тому не є характерною тільки для кристалічного стану. Важливою особливістю кристалів

порівняно з аморфними, склоподібними матеріалами є анізотропія фізичних властивостей.

Якщо властивість кристала не змінюється залежно від напрямку, то говорять, що кристал є ізотропним стосовно цієї властивості. Якщо така залежність є, то кристал анізотропний.

Анізотропія виявляється у зовнішній формі багатьох кристалів. Вона наочно виявляється у механічних властивостях, наприклад, у спайності — здатності деяких кристалів легко розколюватися вздовж певних площин. Анізотропія властивостей характерна також для деяких некристалічних матеріалів, зокрема, рідких кристалів, полімерів. Анізотропія цих речовин, як і кристалів, визначається їх атомною будовою.

Анізотропія не вимагає відмінності всіх властивостей у всіх напрямках. У кристалах, навпаки, передбачаються однакові властивості у деяких різних дискретних напрямках, що є наслідком симетрії кристала.

Симетрія — одне з найважливіших понять фізики і природознавства. Щодо кристалічного стану, то симетрія полягає у можливості здійснити такі геометричні перетворення (поворот, дзеркальне відображення тощо) ґратки, в результаті чого вона суміщатиметься сама зі собою. Це можливо завдяки періодичності структури кристала.

Отже, симетрія є властивістю кристалічного стану і виділяє його серед інших станів речовини.

Ідеальний кристал

Ідеальний кристал — це абстрактна модель, яка використовується у кристалографії, фізиці твердого тіла та інших дисциплінах, що вивчають будову і властивості кристалів. Поняття "ідеальний кристал" означає, що просторовий розподіл густини будь-якого параметра, який характеризує кристал



(такими параметрами можуть бути маса, заряд, спіни електронів та ядер, електричний потенціал та ін.), повинен задовольняти умовам трансляційної симетрії:

$$\rho(\vec{r}) = \rho(\vec{r} + \vec{a}),$$

де \vec{a} - період структури кристала.

Виникає питання про критерії ідеальності кристалів. Учені довели, що критерії ідеальності ґрунтуються на характері розсіяння кристалом хвиль різної природи (електромагнітних, електронних, нейтронних, рентгенівських тощо). Відхилення будови кристала від ідеальної (наявність напружень у структурі, дефектів упакування, блоків тощо) призводить до зміни характеру розсіяння хвиль. Експериментальні дослідження рентгенівських хвиль свідчать, що більшість кристалів володіє блочною структурою. Однак деякі природні кристали (алмаз, кальцит та інші) і вирощені у лабораторії кристали германію, кремнію, хлористого натрію є близькі до ідеальних. Такі кристали мають важливе значення для оптики хвиль рентгенівського діапазону, їх використовують для виготовлення рентгенівських інтерферометрів, резонаторів.

Існують також інші фізичні та хімічні критерії ідеальності кристалів. Фізичні критерії визначаються наявністю у кристалах структурних дефектів, тоді як хімічні — наявністю домішкових атомів. Сучасна фізика, яка досліджує властивості кристалів, а також техніка, яка використовує ці властивості, ставить високі вимоги до структурної досконалості та хімічної чистоти кристалів. Сьогодні розроблені та вдосконалюються методи одержання бездислокаційних кристалів та методи очищення їх до рівня 10^{-10} ат. %. Тобто у надчистих матеріалах один атом домішки припадає на 10^{10} атомів основної речовини, але поняття "ідеальний" кристал все ж залишається науковою ідеалізацією.

Модульовані структури

У природі існують кристали, у яких періоди зміни різних параметрів неоднакові.

Відкриття у 1950-х роках гелікоїдального впорядкування спінів у магнетних криста-

лах засвідчило, що магнетний порядок незалежний від кристалічної структури. Співіснування різних періодичностей в одному кристалі привело до виникнення концепції модульованих структур. Ця концепція використовується для опису довільної періодичності, або частково періодичної модуляції вихідної базисної структури, період якої значно більший від розмірів елементарної комірки. Залежно від співвідношення довжини хвилі модуляції Λ до розміру елементарної комірки d розрізняють співмірно та неспівмірно модульовані структури. Співмірно модульовані структури формуються, коли відношення Λ/d є раціональним числом, якщо Λ/d є ірраціональним, то формується неспівмірно модульована структура.

Реальний кристал

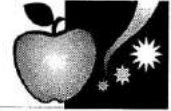
Строга періодичність у розміщенні частинок, що властива ідеальному кристалові, під дією зовнішніх факторів (температури, легування, деформації, опромінення квантами світла, електронами, іонами тощо) неминуче порушується, що впливає на його властивості. Отже, внаслідок дії цих факторів ідеальний кристал стає реальним, тобто таким, який містить різні порушення періодичності розміщення атомів (іонів, молекул), які його утворюють. Сучасна фізика кристалів розглядає два типи порушень періодичності кристалічної будови, які класифікуються як динамічні та статичні дефекти кристалічної ґратки.

Динамічне розупорядкування ґратки

Для розуміння суті динамічних порушень періодичності будови кристалів необхідно з'ясувати, що таке структурні одиниці та носії динамічних властивостей.

Відомо, що ідеальний газ, як певна фізична система складається з атомів, які не взаємодіють між собою. Одночасно ці самі атоми є носіями всіх динамічних властивостей цієї системи.

У кристалі структурні одиниці (атоми, іони) на відміну від ідеального газу сильно взаємодіють між собою. Очевидно, що внаслідок такої взаємодії рух окремо вибраного атома впливає на рух його сусідів. Тому



коливання окремого атома не можна розглядати як елементарну форму руху атомів у кристалах. Такою формою руху є хвилі зміщень атомів. Кожна хвиля зміщень атомів характеризується довжиною λ та частотою ω , причому частота залежить від довжини хвилі та напрямку її поширення. Періодичне розміщення атомів у кристалах зумовлює періодичну залежність частоти від хвильового вектора $\vec{k} = 2\pi/\lambda$ (напрямок вектора \vec{k} збігається з напрямком поширення хвилі).

Квантові властивості хвиль виявляються в тому, що існує найменша порція енергії коливання кристалу із заданою частотою. Це дає змогу поставити у відповідність хвилям коливань частинки (квазічастинки), які називаються *фононами*. Енергія фонона $E = \hbar\omega$, а його імпульс $p = \hbar k$, причому енергія є періодичною функцією імпульсу.

У кристалах можуть поширюватися декілька хвиль зміщень атомів — фононів, які відрізняються між собою характером зміщень. Отже, у кристалах є фонони декількох типів.

Детально розглянувши це питання бачимо, що вектор \vec{p} не є імпульсом. Це вектор, властивості якого дуже подібні до властивостей імпульсу, а тому його називають квазіімпульсом. Найсуттєвішою відмінністю його від імпульсу є те, що при зіткненнях фононів (та інших квазічастинок) у кристалах квазіімпульс не зберігається, а може передаватися дискретними порціями кристалічній ґратці.

Учені встановили, що надлишкова енергія кристала над нульовою енергією $E = 1/2 \hbar v_0$ (v_0 - частота так званих нульових коливань) дорівнює сумі енергій окремих фононів, а кількість фононів зростає при підвищенні температури. Останній факт віддзеркалює зростання амплітуди коливання атомів при підвищенні температури і вказує на іншу відмінність фононів (та інших квазічастинок) від реальних частинок (електронів, фотонів та ін.): їх здатності народжуватись та зникати.

Існує інша суттєва відмінність фонона та інших квазічастинок від реальних частинок. Вона пов'язана з умовами, (ареалом) їх існування. Як відомо, реальні частинки існують у вакуумі, а квазічастинки можуть існувати тільки в макроскопічних системах, утворених реальними частинками. Атом, електрон та інші реальні частинки, можуть існувати за межами кристала, а фонони тільки в кристалі!

На властивостях частинок позначаються властивості ареалу їх існування. Так, енергія реальних частинок у вакуумі не залежить від напрямку їх руху (імпульсу), що є наслідком ізотропності простору. Як і реальні частинки, властивості квазічастинок, зокрема, фононів, відображають властивості їх ареалу. Наприклад, періодичне розміщення атомів у кристалі зумовлює періодичну залежність всіх величин (зокрема енергії) від квазіімпульса. Отже, періодична залежність

$E(\vec{k})$ є властивістю, яка визначається ареалом існування фононів.

Крім коливання атомів навколо положень рівноваги, та відповідних їм фононів існують інші колективні рухи. Тому їм у відповідність теж ставляться квазічастинки: екситони (елементарні збудження електронної підсистеми), поляритони (зумовлені екситон-фононою взаємодією), магнони (кванти коливань спінових хвиль), плазмони (кванти коливань газу вільних зарядів плазми) та ін.

Електрони та дірки у напівпровідниках також розглядають як квазічастинки, оскільки внаслідок взаємодії з ґраткою ефективна маса (а отже, і характер руху) відрізняється від маси вільних носіїв).

Статичні порушення кристалічної ґратки

Статичні порушення кристалічної ґратки — це дефекти, які існують в кристалі довгий час і не зникають при їх охолодженні до температур, близьких до 0 К. Вони класифікуються за розмірністю:

- точкові (нульмірні) дефекти, пов'язані з порушенням структури у вузлах ґратки та міжвузлях;



- лінійні (одномірні) дефекти: дислокації, ланцюжки атомів (краудіони);
- плоскі (двовимірні) дефекти: дефекти упакування, міжблочні межі, поверхні кристала, дисклинації;
- об'ємні (тримірні) дефекти: пори, включення твердої, рідкої чи газоподібної фаз у кристалах, кластери, преципітати, "від'ємні" кристали.

Поверхня кристала

Поняття "ідеальний кристал" передбачає існування кристала з безмежно великими розмірами. Однак на практиці завжди маємо справу з кристалами скінченних розмірів. Це вимагає утворення зовнішніх поверхонь, а їх існування робить ідеальний кристал реальним.

Розгляньмо детальніше особливості геометричної будови поверхневого шару кристала відносно об'єму. Головною з них є наявність в атомах приповерхневого шару частини розірваних, а отже, і ненасичених зв'язків. Тому електрони приповерхневих атомів мають тенденцію до утворення нових зв'язків. Поверхневі стани, які виникають внаслідок наявності на поверхні неспарених електронів називають "блукаючими зв'язками". Це свідчить про готовність неспарених електронів утворити зв'язок з будь-яким атомом іншої природи, що адсорбується на поверхні, або з іншим атомом цього ж елемента (за відсутності адсорбованих атомів). Якщо поверхня чиста, додаткові зв'язки можуть виникати тільки між приповерхневими атомами. У випадку, який реалізується в ковалентних кристалах кремнію та германію, сусідні атоми приповерхневого шару об'єднуються в пари, які називають димерами. На поверхні змінюється період кристалічної ґратки — відбувається реконструкція поверхні, яка приводить до утворення структури 2×1 , що є найпростішою і найхарактерною для чистих та свіжесколотих поверхонь кристалів кремнію (германію) при кімнатних температурах (рис. 1). Зі зміною температури структура поверхні кристала може різко змінюватися. Наприклад, у кремнію замість структури 2×1 виникає структура 7×7 , а в германію — 2×8 .

Електронна будова поверхні кристала також суттєво відрізняється від об'ємної. Тому поверхня кристала розглядається як активна зона, атоми якої мають більшу, ніж в об'ємі, енергію. На поверхні відбувається ріст або плавлення кристала, конденсація пари або випаровування, адсорбція атомів із довколишнього середовища, їх дифузія в об'єм кристала. На поверхні відбувається також хімічна взаємодія кристала з довколишнім середовищем (корозія, травлення, окислення).

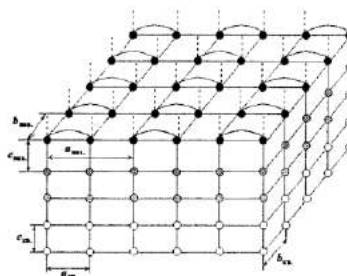


Рис. 1.

У сучасній фізиці поверхня кристала є самостійною ділянкою для вивчення.

Рівноважна форма кристала

Зовнішня форма кристалів (габітус) є багатогранник, на відміну від ізотропного середовища, для якого зовнішня форма є сферою. З великої кількості площин, які формують зовнішню форму кристалів переважаючими будуть ті, які володіють найменшою поверхневою енергією. Зокрема, голкоподібна форма габітусу формується, якщо площини однієї кристалічної орієнтації мають меншу поверхневу енергію. Ізомерний габітус утворюється тоді, коли поверхнева енергія площин різних кристалічних напрямків є приблизно рівна. Пластинкоподібна форма утворюється, якщо одна площина має суттєво меншу поверхневу енергію.

Габітусом кристалів, які отримуються з водного розчину, можна керувати за допомогою поверхнево-активних домішок. Такі домішки селективно адсорбуються тільки на деяких гранях і тому змінюють співвідношення поверхневих енергій граней.



Системи площин кристалів, які мають мінімальну поверхневу енергію, найслабше пов'язані між собою. У металах — це площини щільного укладення атомів, які розділені найбільшою міжплощинною віддаллю. В іонних кристалах типу NaCl — це електрично нейтральні площини, в яких іони Na^+ та Cl^- розміщені у шаховому порядку. Такі площини називають площинами спайності. По них крихкі кристали легко розколюються, а метали розриваються під дією зовнішніх сил. Робота розриву A пов'язана з поверхневою енергією співвідношенням $A = 2\sigma S$, оскільки при розриві утворюються дві нові зовнішні поверхні з площею S кожна.

Точкові дефекти в кристалах

Точкові дефекти є зумовлені неперіодичним розміщенням атомів речовини (власні дефекти) або наявністю домішок (домішкові дефекти). Дефекти характеризуються природою, зарядовим станом, функціональністю (центр прилипання носіїв, центр рекомбінацій, розсіяння тощо), та енергією утворення (ентальпія утворення).

За походженням точкові дефекти належать до двох типів: *теплові* та *радіаційні*.

Перші з них зумовлені тепловими флуктуаціями енергії атомів та відхиленням складу кристалів від стехіометричного, а другі — пов'язані зі зміщенням атомів із вузлів ґратки у процесі опромінення частинками або квантами випромінювання з високою енергією.

Найпростішими точковими дефектами в кристалах є вакансії, міжвузельні атоми (тобто атоми, локалізовані у міжвузлях кристалічної ґратки), домішкові атоми, локалізовані у вузлах та міжвузлях ґратки (рис. 2).

Для позначення точкових дефектів найнайширше використовується символіка, яку запропонував Крегер та Вікк. У цій символіці великою буквою позначається тип дефекту, а індекс вказує на його кристалграфічну позицію. Символ V_i означає вакансії (незайняті вузли кристалічної ґратки), причому індекс "i" (від англ. interstitial) при

довільному іншому символі вказує на локалізацію дефекту у міжвузельному просторі. Процес утворення вакансії можна уявити собі як переміщення атома з об'єму кристала на поверхню, де він розміщується у вузлі ґратки, добудовуючи її. Енергія утворення вакансії визначається роботою, яку треба виконати для переміщення атома з вузла ґратки на поверхню. Для багатьох кристалів енергія утворення вакансій становить ~ 1 еВ.

Встановлено, що джерелами стоку та витоку вакансій, крім поверхонь кристалу, є межі зерен (у полікристалах), дислокації, пори та інші розмірні дефекти. Можливим є також процес утворення вакансій разом з міжвузельним атомом.

У кристалах вакансії можуть існувати ізольованими (одиначними), а також утворювати інші стабільні конфігурації з декількох вакансій — бівакансії, тривакансії. Скупчення значної кількості вакансій може мати вигляд симетричної об'ємної фігури, симетрія якої визначається симетрією кристала. У цьому випадку говорять про існування так званих "від'ємних" кристалів.

Міжвузельний атом розглядають як точковий дефект проникнення, який утворюється при внесенні в ґратку додаткового (власного або домішкового) атома. Отже, для утворення атома в міжвузлі потрібно перенести його з поверхні в об'єм і при цьому виконати певну роботу, яка є більшою, ніж енергія утворення вакансій (\sim декілька еВ). Це зумовлено тим, що енергія локальної деформації ґратки при утворенні відповідних дефектів різна.

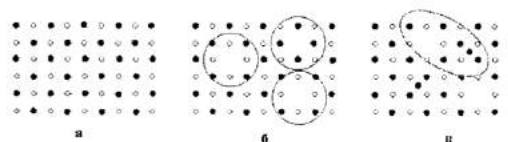


Рис. 2.

Утворення міжвузельного атома зумовлюватиме зміщення атомів, які є довкола нього, з положень рівноваги. Якщо ці зміщення малі порівняно з міжатомними віддалями, то міжвузельний атом локалізується в



одному із міжвузель ґратки. Це реалізується, зокрема, при локалізації вуглецю (С) у ґратці заліза (Fe). В інших випадках міжвузловий атом може витіснити інший атом з вузла ґратки, утворюючи разом з ним так звану гантель з центром у вузлі. Таку конфігурацію атомів називають зчепленим міжвузлям.

У кристалах можуть виникати різні конфігурації дефектів, зумовлених міжвузловим атомом. Однією з них є т.зв. краудіони (від англ. crowd — тиснути). Вони є одірними згущеннями розміщення атомів у певному кристалографічному напрямку, на віддалях рівних декільком міжатомним.

Власні та домішкові міжвузлові атоми можуть взаємодіяти між собою та іншими дефектами, утворюючи змішані гантелі, пов'язані пари дефектів, скупчення міжвузлових атомів у вигляді дислокаційних петель тощо. Будова та властивості асоціатів (складних комплексів), що утворюються при взаємодії точкових дефектів сьогодні інтенсивно вивчаються.

Утворення вакансій у кристалі приводить до появи на її місці ефективного заряду, знак якого протилежний знакові заряду іона, в підґратці якого виникла вакансія.

Так само, зміщення іона з вузла кристалічної ґратки у міжвузля приведе до виникненням як зарядженого іона, так і зарядженої вакансії. Отже, під час утворення дефектів у кристалах зберігається електронейтральність, тобто сума зарядів дефектів, які утворилися у кристалі, повинна дорівнювати нулеві (принцип електронейтральності).

Звідси випливає, що дефекти в кристалах завжди утворюються парами. Наприклад, в іонних кристалах типу NaCl одночасно виникають вакансії у підґратці хлору, які мають ефективний позитивний заряд (V^+), та у підґратці натрію, які володіють негативним зарядом (V^-). В елементарних сполуках, наприклад, напівпровідниках Si, Ge, одночасно утворюється пара "вакансія-міжвузельний атом". Пару вакансій у підґратках різних елементів називають дефектом Шоттки, а пару "вакансія-міжвузловий атом" — дефектом Френкеля. У кристалах можуть спостерігатися й інші способи компенсації зарядів дефектів (рис. 3).

Утворення вакансії (тобто перенесення атома з об'єму на поверхню кристала) приводить до збільшення об'єму кристала. Величина зростання об'єму становить одиницю атомного об'єму (V) на одну вакансію. Однак, внаслідок релаксації атомів навколо вакансії, збільшення об'єму є меншим від одиничного і становить $\sim 0,7V$ на одну вакансію. Утворення атомів у міжвузлях також приводить до збільшення об'єму через те, що він зміщує довколишні атоми.

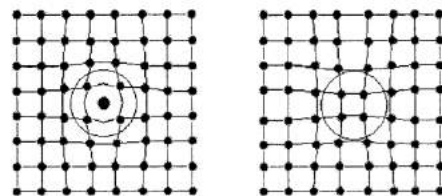


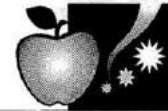
Рис. 3.

Якщо в кристалі є дефекти, то зміна його об'єму зумовлює різницю між реальною густиною кристала та рентгенівською густиною, яка визначається на основі величини постійної ґратки цього кристала.

Домішкові рівні у кристалах

Введення домішкових атомів у напівпровідники зумовлює виникнення в них донорних та акцепторних центрів. Донорні центри утворюють атоми, валентність яких є більшою порівняно з атомами основи кристала. Акцепторні домішки мають меншу валентність від атомів основи, і вони зумовлюють виникнення акцепторних центрів. Розгляньмо детальніше енергетичні характеристики донорних та акцепторних центрів у напівпровідниках. Для прикладу візьмемо кристал кремнію, в якому частину атомів замінимо домішковими атомами фосфору. Для утворення кристалічної ґратки атом кремнію колективізує чотири валентні електрони, і тому всі іони кремнію володіють однаковим зарядом $+4e$. Домішкові атоми фосфору для утворення зв'язку віддають п'ять валентних електронів, а тому іони фосфору мають заряд $+5e$.

Можна вважати (з деяким наближенням), що йонні основи кремнію та фосфору не сильно відрізняються між собою. Тоді факт заміщення іона кремнію іоном фосфору можна представити інакше, а саме, вва-



жати, що у вузол довільного атома кремнію додатково розташовують заряд $+e$, а також електрон із зарядом $-e$. Внаслідок кулонівської взаємодії нерухомий центр притягання (заряд $+e$) буде утворювати з електроном пов'язану систему, яку можна утотожнювати з атомом водню. Якби домішковий атом був розміщений у вакуумі, то енергія зв'язку надлишкового електрона з центром притягання дорівнювала б потенціалу іонізації атома фосфору, тобто ~ 7 еВ. Однак завдяки тому, що домішка локалізована у напівпровідникові, енергія зв'язку електрона з центром притягання суттєво зменшується через діелектричну проникливість матеріалу ϵ . Значення ϵ для напівпровідників є значним і становить 10-20. Для переважної більшості напівпровідників енергія зв'язку електрона з донорною домішкою менша від ширини забороненої зони, оскільки енергія зв'язку відраховується від енергії рівнів зони провідності, з яких формується зв'язаний донорний рівень. Тому донорні домішки приводять до утворення додаткових електронних рівнів, енергія яких $E_d < E_c$ (E_c - енергія, яка відповідає дну зони провідності, причому $E_c - E_d \ll E_g$). Тому такі дефекти можуть іонізуватись при відносно низьких температурах, а у зоні провідності з'являються вільні електрони. Однак кінетичні властивості таких носіїв відрізнятимуться від властивостей електрона, який відомий нам як елементарна частинка. Їх енергія залежить від квазіімпульсу також параболічно,

$$\text{тобто } E(k) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*}, \text{ де замість маси електрона}$$

вводять так звану ефективну масу m^* . Ефективна маса суттєво відрізняється від маси вільного електрона.

Подібні міркування можна застосувати для акцепторних центрів, валентність яких на одиницю менша від валентності атомів основи кристала. Можна вважати, що у випадку акцепторних домішок фіксований нерухомий у ґратці є заряд $-e$, який розміщений у тому ж місці, де локалізований атом домішки, то в кристалі бракує одного електрона. Відсутній електрон розглядають як дірку, яка зв'язана з негативним зарядом, що моделює домішку. Як і в попередньому випадку, енергія зв'язку дірки з негативно

зарядженим центром є малою порівняно з шириною забороненої зони. У зонній схемі зв'язаній дірці відповідатиме додатковий електронний рівень з енергією E_a , який розміщений вище від стелі валентної зони. Коли цей рівень порожній, то дірка знаходиться у зв'язаному стані. Енергія зв'язку дірки дорівнює $E_a - E_v$, це енергія, необхідна для переведення електрона зі стелі валентної зони на акцепторний рівень. Внаслідок того, що донорні та акцепторні зони розміщені біля меж забороненої зони, при тепловому збудженні значно легше здійснювати переходи електронів з донорного рівня у зону провідності чи дірки з акцепторного рівня у валентну зону, ніж зона-зонні переходи. Тому, коли концентрація домішки є значною, вони відіграють важливу роль в утворенні вільних носіїв у кристалі.

З цього випливає, що надання напівпровідникам необхідних властивостей досягається введенням у них домішок. Якщо домішки в напівпровідник вводяться цілеспрямовано, то такий процес називають легуванням, а домішки - легуючими. Легуючі домішки вказують в дужках після кристала, наприклад, Si (P) означає "кремній, легований фосфором".

Поведінка легуючих домішок в елементарних, а особливо у складних напівпровідниках завжди неоднозначна, оскільки залежить від багатьох факторів (кристаліграфічної позиції, заряду, відхилення від стехіометрії, взаємодії з іншими дефектами).

Існують також фонові, або випадкові домішки, які не вводяться у кристал цілеспрямовано, а з'являються в кристалах у процесі їх вирощування, термообробки. Типовими прикладами фонових домішок є кисень, вуглець та азот у кремнії, кремній, кисень, вуглець в арсеніді галію. Фонові домішки, як правило, погіршують властивості матеріалів та ускладнюють керування їх параметрами, тому надзвичайно актуальним є розроблення технології одержання кристалів з низьким рівнем фонових домішок та методів оцінки їх концентрації.

Дослідження дефектів у кристалах та їх впливу на механічні, електричні й оптичні властивості матеріалів є одним з пріоритетних напрямів у фізиці твердого тіла і відкриває можливості для створення нових матеріалів.



П'єр Сімон Лаплас

до 250-річчя від дня народження

*"...Кожне дослідження
Лапласа відкривало у
Всесвіті і на нашій Землі
умови порядку й незмінності"*

Араго

Видатні досягнення відразу в декількох галузях науки — фізиці, астрономії, математиці, виділяють Лапласа серед інших учених.

П'єр Сімон Лаплас народився 23 березня 1749 року у сім'ї небагатого фермера в містечку Бомон-ан-Ож у Нижній Нормандії. Про дитинство і юність Лапласа відомо небагато. Він не любив розповідати про своїх родичів та їхню бідність. Поміщик, в якого його батько орендував землю, сприяв кмітливому хлопчикові і дав йому змогу навчатися у коледжі ченців-бенедиктинців.

Лаплас виявив блискучі здібності до вивчення мов, літератури, математики, богослів'я. Юний П'єр Сімон спочатку мріяв стати богословом. Він успішно виступав у дискусіях на релігійні теми і повернувся до себе увагу впливових служителів ордену бенедиктинців. Завдяки своїм глибоким знанням Лаплас, ще навчаючись у коледжі, отримав місце викладача у військовій школі м. Бомона. Там він викладав елементарну математику. Згодом Лаплас відмовився від кар'єри священника і вирішив присвятити своє життя науці. Закінчивши коледж, Лаплас вступив до університету. Він самостійно вивчав праці Ісаака Ньютона, Леонарда Ейлера, Алексіса Клеро, Жозефа Луї Лагранжа і Жана Лерона Д'Аламбера.

Лаплас став переконаним послідовником Ньютона і поставив перед собою завдання пояснити рух планет, їх супутників, комет, океанські припливи на Землі і складний рух Місяця, користуючись тільки принципом



тяжіння Ньютона. Свої задуми він хотів підтвердити конкретними математичними розрахунками.

Перша наукова праця Лапласа була пов'язана з математичною теорією азартних ігор. Для знаходження середніх значень випадкових величин він запропонував "метод найменших квадратів". Цей метод став одним із найважливіх інструментів у природничих науках,

який широко використовується і досі.

Восени 1770 року Лаплас переїхав до Парижу. Він відіслав Д'Аламберові рекомендаційні листи, на які той не звернув уваги. Згодом Лаплас написав знаменитому ученому лист, в якому виклав свої міркування про проблеми теоретичної астрономії. Д'Аламбер зрозумів, що перед ним надзвичайно здібний юнак, який уже досконало володіє математичними методами. Завдяки його підтримці Лаплас став професором математики у Королівській військовій школі у Парижі. Весь свій час він присвячував математиці, направляючи у Королівську академію наук працю за працю з теорії ймовірностей та механіки. Лаплас, якому було 22 роки, був упевнений у собі і мріяв отримати у академії молодшу наукову посаду ад'юнкта. Однак, перша спроба виявилась невдалою. Незважаючи на велику кількість праць з математики, його забалотували. Він поводив себе впевнено, демонструючи високий рівень своїх знань, що нерідко зачіпало самолюбство академіків.

Нарешті 1773 року Лапласа обрали у Паризьку академію наук як ад'юнкт-механіка. Цього ж року була опублікована його фундаментальна праця "Про принцип всесвітнього тяжіння і про вікові нерівності планет, які від нього залежать". Віковою нерівністю називають монотонну зміну пе-



ріоду обертання планети навколо Сонця. За законами Кеплера, період повинен бути постійним. Однак ще Галлей, порівнюючи свої спостереження з даними астрономів попередніх епох, виявив, що Сатурн обертається навколо Сонця повільніше, ніж у давнину, а Юпітер, навпаки швидше. Збереження цих прискорень привело б до падіння Юпітера на Сонце і вихід Сатурна із Сонячної системи. Щоб пояснити нерівності Юпітера і Сатурна, Ейлер, а пізніше Клеро і Лагранж запропонували свої теорії збурення планетних орбіт. Лаплас, удосконаливши теорію Лагранжа, довів, що нерівності планет мусять бути періодичними. Сповільнення Сатурна повинно з часом змінитись прискоренням, а прискорення Юпітера — сповільненням. За його твердженням “взаємна дія планет не викликає вікового прискорення у їх середніх рухах”. Це означало, що Сонячна система — мабуть стійка.

Наступні праці Лагранжа і самого Лапласа показали, що період зміни елементів орбіти однієї планети під дією збурення другої тим більший, чим ближче відношення початкових періодів обертання цих планет до раціонального числа (сумірні періоди). Якщо це відношення дорівнює раціональному числу, то збурення з часом повинні неперервно зростати, і одна із планет або впаде на Сонце, або буде викинута із сонячної системи. Відомо, що періоди всіх планет “майже” сумірні з періодом обертання Юпітера. “Майже” відіграє дуже важливу роль: при точній сумірності збурення були б не періодичними. Отже, рухи планет сонячної системи є складними і тільки у першому наближенні можуть бути описані законами Кеплера.

1777 року Лаплас виступив у Паризькій академії з доповіддю про припливи і відпливи в океанах. Першу модель цього природнього явища розглядав ще Ньютон. Теорію припливів удосконаливали Йоган Бернуллі, Ейлер і Д'Аламбер. Вони розробили статичну теорію припливів. Лаплас створив динамічну теорію припливів, у якій розглянув рух води океанів уздовж поверхні Землі. Його теорія значно точніше описувала реальні припливи.

У працях 1778-1785 років Лаплас продовжив вдосконалювати теорію збурень. Використовуючи цю теорію, він показав, що коли комета на початку рухалась відносно Сонця по гіперболічній орбіті, то наблизившись до Юпітера, вона зазнаватиме гравітаційного впливу і її орбіта може стати еліптичною. Комета повертатиметься періодично до Сонця. 1785 року П'єра Лапласа обрали членом Паризької академії наук.

У листопаді 1787 року Лаплас прочитав в академії доповідь про рух Місяця. Ще Галлей, порівнюючи спостереження затемнень у давнину і в сучасну йому епоху, виявив, що період обертання Місяця навколо Землі зменшився. Він оцінив, що середня кутова швидкість переміщення Місяця збільшується приблизно на 10^0 на сторіччя. Лагранж не зміг пояснити це явище і поставив під сумнів достовірність давніх спостережень, а Лаплас це зробив. Із робіт Лагранжа він знав, що під дією збурення з боку Юпітера змінюється ексцентриситет земної орбіти. Вона або наближається до кола, або робиться витягнутою. Лаплас показав, що період обертання Місяця навколо Землі залежить від ексцентриситету земної орбіти. Коли вона наближається до кола, то рух Місяця прискорюється. Через деякий час ексцентриситет починає зростати і з віддаленням від Землі рух Місяця сповільнюватиметься. Ця праця Лапласа подолала останню важливу суперечність між теорією тяжіння Ньютона і астрономічними спостереженнями.

Уже відомим ученим, навесні 1788 року, Лаплас одружився зі Шарлотою де Курті. Їхній шлюб був щасливим. Вони мали двох дітей: сина і доньку. Донька померла дуже молодою. Син обрав кар'єру військового (артилериста) і дослужився до генеральського звання.

1789 року Лаплас створив теорію руху супутників Юпітера. Вона добре узгоджувалась із спостереженнями і її використовували для передбачення руху цих супутників. Цього ж року розпочалася Велика Французька революція. Учений не брав активної участі в революційних подіях, однак він прийняв пропозицію працювати у Комісії із запровадження нової системи мір. Згодом



була утворена Палата мір і ваг, президентом якої став Лаплас. Під його керівництвом була створена сучасна метрична система всіх фізичних величин і почалось її впровадження. У цей же період Лаплас брав активну участь в реорганізації вищих навчальних закладів у Франції, у створенні Нормальної і Політехнічної шкіл.

Коли до влади прийшли якобинці і розпочались масові страти, Лаплас разом із сім'єю був змушений виїхати з Парижу.

Учений поселився у містечку Мелен, де продовжував працювати. Він написав цікаву популярну книгу "Виклад системи світу", яка вийшла у світ 1796 року. В ній учений зібрав усі основні астрономічні знання XVIII сторіччя, не використовуючи жодної формули. Лаплас детально розповів про календарі, затемнення, комети, про рух планет та їх супутників, про обертання Землі та її форму, про закон тяжіння, про кільця Сатурна, про рух Місяця і припливи. У цій же книзі він виклав свою гіпотезу про походження Сонячної системи, яка незабаром стала відомою.

Гіпотеза Лапласа про виникнення Сонячної системи була результатом узагальнення астрономічних спостережень і розрахунків руху тіл під дією ньютонівської сили тяжіння. Він стверджував, що Сонячна система виникла із гарячої газової туманності, яка оточувала молоде Сонце. Поступово туманність охолоджувалась і під дією тяжіння почала стискатись. Зменшуючись, вона оберталась все швидше. Під дією відцентрових сил туманність сплющилась і перетворилась у навколосонячний диск, який почав розділятися на кільця, що згодом трансформувались у протопланети. Кожна протопланета оберталась навколо осі і у результаті цього могли утворюватись її супутники. Прогресивна для свого часу гіпотеза Лапласа не підтверджується новими астрономічними даними, отриманими вже в XX сторіччі.

У цій же книзі Лаплас, аналізуючи властивості тяжіння, прийшов до висновку, що у Всесвіті, можливо, є настільки масивні тіла, що світло не може їх покинути. Такі тіла зараз називають чорними дірами. Він писав: "Якщо б діаметр зорі, яка світиться

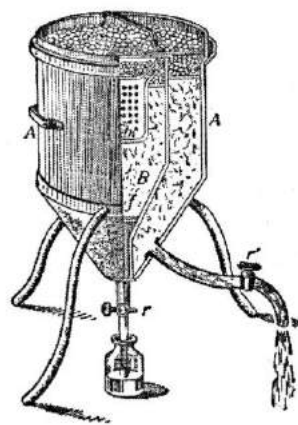
має таку ж густину, що й Земля, в двісті п'ятдесят разів перевищував діаметр Сонця, то внаслідок притягання зорі жоден з випущених нею променів не зміг би дійти до нас; отже, можливо, що найбільші з тіл, які світяться, з цієї причини є невидимими".

1794 року Лаплас повернувся до Парижу.

У серпні 1795 року засновано Інститут Франції, що продовжував традиції Академії (під час революції Королівська академія була ліквідована). Лагранжа обрали головою, а Лапласа — заступником голови фізико-математичної секції Інституту. Водночас Лаплас розпочав роботу над великою науковою працею. Він назвав її "Трактат про небесну механіку". Перший том вийшов 1798 року.

У листопаді 1799 року генерал Наполеон Бонапарт здійснив державний переворот і оголосив себе першим консулом Французької республіки. Раніше, коли Наполеон навчався у військовій школі, він слухав лекції Лапласа і блискуче склав йому екзамен з балістики. Прийшовши до влади, Наполеон призначив Лапласа міністром внутрішніх справ. Цю посаду він займав недовго. Через місяць Наполеон перевів його у Сенат.

Лаплас і далі багато працював. Коло його наукових інтересів було надзвичайно широке. Крім теоретичної астрономії, він також плідно працював у галузі експериментальної фізики. Лаплас разом з Лавуаз'є займались питанням про теплоту плавлення, тобто про тепло, яке потрібно затратити, щоб тверде тіло перевести у рідкий стан при температурі плавлення. Сконструювали "льодяний калориметр" та провели за допомогою нього перші виміри питомої теплоти згоряння тепло-



Калориметр Лавуаз'є-Лапласа



ємності багатьох речовин. Вчені вперше застосували для вимірювання теплового розширення твердих тіл зорову трубу і провели найточніші на той час вимірювання лінійного коефіцієнта розширення. Це був чи не єдиний випадок, коли Лаплас займався спостереженнями та експериментом.

Лаплас вивів формулу для швидкості поширення звуку в повітрі. Формула швидкості звуку у повітрі була виведена ще Ньютоном, але вона не підтверджувалась дослідями. Спроби пояснити причину цих розбіжностей були безуспішними поки за цю справу не взявся Лаплас. Учений, 1800 року, помітив, що зміна температури повітря пов'язана зі змінами його густини в звукових хвилях, змінює пружність повітря. Це повинно впливати на швидкість звуку. Йому довелось багато попрацювати перш, ніж він одержав точний результат: *“Швидкість звуку дорівнює швидкості звуку, що дається формулою Ньютона, але помноженою на корінь квадратний із відношень питомої теплоємності повітря при постійному тиску і постійному об'єму”*. Варто відзначити, що відношення цих теплоємностей довго не могли визначати з належною точністю, і висновки Лапласа, що випередили експериментальну фізику, деякі вчені намагались заперечити ще протягом півсторіччя.

Закон тяжіння Лаплас розглядав як точний і загальний закон природи. Він вважав, що цей закон виявляється у молекулярних взаємодіях. Розвиваючи думку про молекулярні сили як сили тяжіння, учений допустив, що капілярні сили зумовлені взаємним зчепленням частинок рідини та їх прилипанням до стінки. Співвідношення цих сил визначає крайовий кут, який для даної стінки та рідини повинен зберігати певне постійне значення. Це дало змогу Лапласові 1806 року побудувати формальну теорію капілярних явищ, а саме: вивести відому формулу (формулу Лапласа) для надлишкового тиску над викривленою поверхнею та встановити залежність висоти підняття рідини від діаметра капіляра. 1809 року учений висунув теорію випро-

мінювання світла, яку згодом замінила хвильова теорія світла Френеля. Він також є одним із співавторів закону Біо-Савара-Лапласа в електродинаміці.

П'єр Сімон Лаплас був обраний членом багатьох європейських академій. 1808 року Наполеон, будучи вже імператором, надав Лапласові титул графа імперії.

Після краху Наполеона і повернення на трон династії Бурбонів заслуги Лапласа і надалі високо оцінювали. 1814 року він отримав титул маркіза і став пером Франції, йому вручили орден Почесного легіону вищого ступеня. За літературну досконалість книги “Виклад системи світу” Лаплас був обраний до числа “40 безсмертних” академіків секції мови і літератури Паризької академії наук.

Лаплас завжди був оточений молодими ученими і відносився до них з увагою. Він проводив з ними інколи цілі дні, обговорюючи результати досліджень, плануючи наступні роботи. Він постійно вимагав, щоб до наукової праці учні відносились наполегливо, даремно не витрачали час і черпали свої ідеї з творів своїх великих попередників.

Останні роки життя учений провів із сім'єю в Аркейлі. Він працював над виданням “Трактату про небесну механіку”. Незважаючи на значні прибутки жив скромно. 5 березня 1827 року після важкої хвороби Лаплас помер.

П'єр Сімон Лаплас, більше, ніж будь-хто інший з дослідників, сприяв зміцненню принципу механічного детермінізму, який він висловив так:

“Розумна істота, яка в кожний даний момент знала б усі рушійні сили природи і мала б повну картину стану, в якому природа перебуває, могла б — коли б тільки її розум був спроможний достатньою мірою проаналізувати ці дані — виразити одним рівнянням як рух найбільших тіл світу, так і рух найдрібніших атомів. Нічого не залишилося б для неї невідомим, і вона могла б оглянути одним поглядом, як майбутнє, так і минуле” (“Спроба філософії теорії ймовірності”).

Галина Шопа



ХТО ВІНАЙШОВ АТОМНУ БОМБУ ?

Юрій Ранюк

професор ННЦ “Харківський
фізико-технічний інститут”

В останні роки з’явилося багато публікацій, що дозволяють відтворити історію радянського атомного проекту [1,2]. Зокрема, стали відомі імена винахідників атомної бомби. Звичайно, говорити в цьому випадку про винахідників може й не дуже коректно, адже поява ідеї атомної бомби стала підсумком усього попереднього розвитку науки, особливо ядерної фізики.

І все ж, відомі імена вчених, які отримали авторське свідоцтво на винахід саме атомної бомби, точніше, способів її виготовлення. Це Фрідріх Ланге, начальник Лабораторії ударних напруг (ЛУН) Українського фізико-технічного інституту, Володимир Шпінель і Віктор Маслов, наукові працівники цієї ж лабораторії.

На початку 1939 року після відкриття німецькими вченими О. Ганом і Ф. Штрассманом та Л. Мейтнер і О. Фрішем реакції поділу атомного ядра багатьом ученим світу відкрилася перспектива оволодіти ядерною енергією через створення умов для керованої (реактор) і некерованої (бомба) ланцюгових ядерних реакцій. Стали відомі три наукові факти, які свідчили про реальність розв’язання проблеми. У реакції поділу реалізується величезна енергія — біля 200 мегаелектронвольт, що більше ніж у десять разів перевершує це значення для інших відомих ядерних реакцій. У процесі поділу випромінюються вторинні нейтрони, внаслідок чого з’явилася впевненість в можливості здійснити ланцюгову реакцію. Тепловими нейтронами ділиться лише легкий ізотоп урану — уран 235, якого в природній суміші міститься лише 0.7 %. Це дещо охолодило оптимізм ентузіастів ядерної енергії. Учені бачили не лише перспективи, що їх відкриває розв’язання “уранової проблеми”, яке полягає в здійсненні ланцюгової реакції. Вони також розуміли, яких величезних зусиль потрібно для цього. Почалася виснажлива боротьба за те, щоб переконати

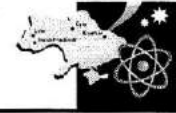
керівників науки, промисловості, а також політиків у можливості оволодіти ядерною енергією.

Уже навесні 1939 року німецькі та англійські фізики написали листи до своїх урядів, в яких звертали увагу на можливість створити атомну бомбу. Але подальший розвиток подій в Європі — початок 1939 року Другої світової війни, окупація Франції та блокада Англії призупинили хід робіт з реалізації уранових проектів. Ядерні дослідження продовжувались у США, де у цей період працювало багато видатних учених з Європи, які втекли від фашизму. Вони і відіграли важливу роль у створенні атомної бомби.

Одним з перших, хто відчув можливість створити ядерну зброю та загрозу світові, якщо така зброя буде створена в Німеччині, був Л. Сцілард, емігрант з Угорщини. Саме він переконав авторитетного на весь світ ученого Альберта Айнштейна написати лист до президента США Ф. Рузвельта. Такий лист був написаний 2 серпня 1939 року.

Президент Ф.Рузвельт негайно віддав розпорядження створити спеціальний Урановий комітет, який зібрався на перше засідання 21 жовтня 1939 року. Але рішення розгорнути широмасштабну програму створення нової зброї було прийнято лише у вересні 1941 року. 13 серпня 1942 року указом президента в Лос-Аламосі, штат Нью-Мехіко, у пустелі, недалеко від Санта Фе було створено спеціальний округ інженерних військ — Манхеттенський. З цього часу в США розпочалася робота велетенського масштабу, що поглинула значні кошти, матеріальні ресурси, людські зусилля і привела до створення ядерної бомби небаченої досі потужності, пробний вибух якої був здійснений у липні 1945 року.

Наприкінці лютого 1939 року на засіданні Комісії з атомного ядра Відділення фізико-математичних наук АН СРСР була прий-



нята Постанова про план роботи ЛУН на 1939 рік [2. С. 55]. У Постанові Комісії від 27 лютого 1939 року, підписаній її головою академіком С. Вавіловим, було зазначено: “Комісія пропонує ЛУН негайно включитися у вивчення проблеми урану і вважає, що основні роботи у цьому напрямку повинні бути зосереджені в ЛУН. ...необхідно встановити тісний контакт ЛУН з лабораторіями О. Лейпунського, К. Синельнікова та І.Курчатова”. Фактично мова йшла про створення Головної організації в країні з уранової проблеми.

Ніяких сумнівів про принципову можливість оволодіти ядерною енергією харків'яни на той час не мали. В. Маслов у статті “Поділ важких ядер нейтронами та перспективи використання енергії ядерних перетворень”, опублікованій у 7-му числі журналу “Советская наука” за 1940 рік писав, що “використання внутрішньоядерної енергії перестас бути мрією, а стає, і вже значною мірою є технічною проблемою”.

Цих проблем було багато, але головні з них дві: як напрацювати необхідну кількість ізотопу урану-235, з якого тільки і можна було зробити бомбу (про плутоній та плутонієву бомбу тоді ще, принаймні у Харкові, нічого не знали) та як зібрати надкритичну масу цього ізотопу.

Була ще й третя проблема, але вже не технічна, а фінансова: де взяти кошти на такі важливі, але дорогі дослідження. Адже мало хто вірив у доцільність витрачання фінансів на вирішення примарного уранового проекту.

Колишній працівник Лабораторії ударних напруг Лев Пивовар головною фігурою серед трійки винахідників вважає Фрідріха Ланге, свого колишнього начальника й друга. Саме Ф. Ланге розпочав розмови про атомну бомбу. Лабораторія Ф. Ланге працювала над секретною військовою тематикою, тому всі розмови про бомбу велись неофіційно. Та Л.Пивовар добре пам'ятає, що колеги зустріли ідею створити атомну бомбу насторожено. Усім тоді здавалось, що її реалізація настільки важка, що межує з нереальністю. Сарказму не було меж. Але Ф.Ланге зумів знайти однодумців, які повірили в його

задуми. Сподівання отримати якісь кошти на ці дослідження в інституті годі було й думати. Тоді ентузіасти почали писати листи у високі інстанції з надією отримати необхідні кошти на наукові дослідження. Ми лише перелічимо ці листи:

Записка працівника ЛУН УФТІ АН УРСР В.Маслова від 22 серпня 1940 року в Академію наук СРСР про заходи, необхідні для організації робіт з проблеми урану [2. С. 132];

Записка наукового керівника ЛУН УФТІ Ф. Ланге П. Светлову “Розділення ізотопів урану” — про використання електромагнітного способу розділення. 26 серпня 1940. (П. Светлов — секретар Президії Академії Наук СРСР)[2. С. 136];

У комісію з проблем урану. Технічна пропозиція Ф. Ланге, В.Маслова, В.Шпінеля “Розділення ізотопів урану шляхом використання коріолісового прискорення”. Не пізніше 1 жовтня 1940 року. Таємно. [2. С. 167].

Жодної позитивної реакції на листи не було. Правда, ученим давали зрозуміти, що коли б їхні пропозиції були захищені авторськими свідоцтвами, то розмову про фінансову підтримку можна було б поновити. І вчені сіли писати заявки на винаходи:

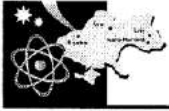
В. Маслов і В. Шпінель “Про використання урану як вибухової і отруйної речовини”. 17 жовтня 1940 року. Таємно [2. С. 193];

Ф. Ланге, В. Маслов, В. Шпінель “Спосіб приготування уранової суміші, збагаченої ураном з масовим числом 235. Багатокамерна центрифуга” Не раніше 17 жовтня і не пізніше 31 грудня 1940 року [2. С. 196];

Ф. Ланге і В. Маслов “Термоциркуляційна центрифуга”. Не раніше 1 січня і не пізніше 3 лютого 1941 року [2. С. 213].

Наукою тоді керували люди старшого покоління, які не вірили у перспективи оволодіння ядерною енергією. Ті ж, хто бачив перспективи — займали нижчі щаблі у науковій ієрархії, оскільки сама ядерна фізика на той час була ще молодою наукою.

Ось що говорив про можливість використовувати атомну енергію П. Капиця у виступі перед активом письменників журналу “Дитяча література” 5 лютого 1940 року [2. С. 93]: “...питання про оволодіння



атомною енергією — питання старе. Ця галузь фізики, звичайно, найменше науково вичерпана із усіх інших. Завдяки Резерфордові та його учням вона далеко просулась вперед. І зараз найвірогіднішим є те, що атомною енергією ми з легкістю не скористаємось. Ймовірніше, не скористаємось зовсім. Вона відіграє велику роль лише в принципових явищах — у великих масах. Вона безперечно відіграє вирішальну роль в зоряних космологічних процесах, але в житті людей — у мікрокосмосі — вона не відіграє і, мабуть, не буде відігравати енергетичної ролі.

Сонце, зірки підтримують своє випромінювання цією ядерною енергією. Звичайно, не можна напевно сказати, але є всі об'єктивні дані для твердження, що в земних умовах ядерна енергія не буде використана. Так вважав і Е.Резерфорд. Такої ж думки дотримувався і А.Йоффе. У довоєнний період він стверджував [3]: “якщо оволодіння ракетною технологією є справою майбутніх 50 років, то використання внутрішньоатомної енергії — справа майбутнього сторіччя”.

Отже, у Відділ винахідництва Народного комісаріату оборони надходили заявки працівників ХФТІ. Слід одразу зазначити, що заявки були присвячені не обґрунтуванню

принципових можливостей створити бомбу (це авторам здавалося очевидним), а розв'язанню технічних проблем.

Формула винаходу заявки на бомбу: *“Авіабомба чи інший боєприпас, вибух яких ґрунтується на використанні ланцюгової реакції поділу ядра ізотопу урану-235 при надкритичній масі останнього, що утворюється з'єднанням декількох субкритичних мас і відрізняється тим, що для утворення в потрібний момент часу надкритичної маси ізотопу урана-235, заряд останнього розділено на декілька частин низкою непроникних для нейтронів перегородок із вибухівки, наприклад ацетилсрібла, що знищується вибухом у потрібний момент”*.

Нижче ми цитуємо частину цієї заявки.

“...Як відомо, згідно з останніми даними фізики, у значних кількостях урану (а саме, в тому випадку, коли розміри уранового блоку значно перевищують довжину вільного пробігу в ньому нейтронів) у ньому відбудеться вибух величезної руйнівної сили. Це пов'язано з надзвичайно великою швидкістю розвитку в урані ланцюгової реакції поділу і величезною кількістю енергії, що при цьому виділяється (у мільйон разів більше від тієї енергії, яка виділяється

Віктор Маслов

(1913- 13.12. 1942)

Народився 1913 р. (у м. Харкові). Закінчив 1936 р. Харківський механіко-машинобудівний інститут за фахом інженера-дослідника і цього ж року почав працювати в УФТІ фізиком-експериментатором у лабораторії радіоактивних вимірювань. У цій лабораторії під керівництвом О. Лейпунського захистив кандидатську дисертацію на тему: “Про характер поділу урану під дією повільних нейтронів”. Захист відбувся на Ученій раді Харківського державного університету 8 червня 1940 року.

Захопившись ідеєю створення атомної бомби, В.Маслов перейшов у Лабораторію Ф.Ланге, оскільки Лейпунський не схвалював цього захоплення.

В. Маслов активно займався пропагандою перспектив ядерної енергетики і не лише декларував, але й доводив, що використання внутрішньоатомної енергії вже перестало бути мрією, а стало технічною проблемою.

1941 р. був мобілізований і відряджений до Москви, де закінчив курси військових техніків при Артилерійській академії. Був поранений осколком зенітного снаряду під час авіанальоту і помер у госпіталі в м. Баку 13 грудня 1942 року.





при хімічних реакціях звичайних вибухів).

Однак складність створення вибуху в урані полягає в тому, що при збільшенні його кількості (ще до того, як його маса стане настільки великою, що її розміри значно перевершать пробіг нейтронів) може здійснитись реакція невибухового характеру.

Ланцюгова реакція невибухового характеру, що настає при досягненні ураном деякого критичного об'єму (а саме, коли довжина пробігу нейтрона порівняна з лінійними розмірами маси урану), призводить до явища термічного саморегулювання, яке перешкоджає здійсненню вибуху.

Отже, щоб створити умови для виникнення вибуху необхідно перейти критичний об'єм за час, коротший, ніж той, що потрібний для розвитку ланцюгової реакції. Харитон і Зельдович у праці, присвяченій з'ясуванню умов виникнення ланцюгової реакції в урані [3] писали: "Час проведення процесів, що здійснюють перехід критичних умов, наприклад, час зближення двох уранових мас, кожна із яких є докритичною щодо ланцюгового розпаду області, стозна чи вдасться зробити бодай порівняним з часом розгону реакції".

Нижче зазначено, що здійснити вибух в урані можливо і вказали як саме.

Із вищесказаного випливає, що проблема створення вибуху в урані зводиться до створення за короткий проміжок часу маси урану в кількості значно більшої від критичної.

Здійснити це ми пропонуємо шляхом заповнення ураном об'єму, розділеного непроникними для нейтронів перегородками так, що в кожному окремому ізолюваному об'ємі — секції — зможе поміститися кількість урану менша від критичної. Після заповнення такого об'єму стінки за допомогою вибуху вилучаються, внаслідок чого виникає маса урану значно більша від критичної. Це призведе до миттєвого виникнення уранового вибуху. Для перегородок можуть бути використані речовини типу ацетиланіту срібла. Подібні сполуки не дають газоподібних продуктів. Тому їх

вибух не призведе до випаровування стінок і не спричинить ніякого розкидання урану.

Що ж до уранового вибуху, то крім його величезної руйнівної сили (створення уранової бомби, достатньої для зруйнування таких міст як Лондон чи Берлін, очевидно не буде проблемою), необхідно зазначити ще одну важливу особливість. Продуктами вибуху уранової бомби є радіоактивні речовини, які мають отруйні властивості в тисячі разів потужніші, ніж найсильніші отрути, у тому числі й бойові отруйні речовини. Тому йони, що деякий час після вибуху існують в газоподібному стані, розлетяться на величезну площу, зберігаючи свої властивості впродовж порівняно тривалого часу (близько години, а деякі з них навіть — днів і тижнів). І важко сказати, яка з особливостей (велика руйнівна сила чи отруйні речовини) уранових вибухів найпривабливі у військовому відношенні".

Кандидат фізико-математичних наук

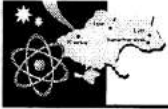
В. Маслов

Кандидат фізико-математичних наук

В. Шпінель

Автори — працівники інституту: Фізико-технічний науково-дослідний інститут Академії наук УРСР (м. Харків, Юмівський тупик, ФТІ).

Фаховий рівень експертів, що розглядали цю пропозицію, був не дуже високим і вона пішла блукати по інстанціях. Із відділу винахідництва Народного комісаріату оборони заявка потрапила в Управління військово-хімічного захисту НКО, звідки її переправили в Науково-дослідний хімічний інститут (НДХІ) Червоної Армії. А наприкінці січня 1941 року без будь-якого принципового розгляду матеріал було знову скеровано в НКО з негативним висновком. Спираючись на згадану вище статтю Харитона і Зельдовича (до речі, обидва пізніше стали тричі Героями Соціалістичної Праці саме за розробку ядерної зброї) начальник відділу "А" НДХІ Червоної Армії військовий інженер 2 рангу Сомінський у секретному висновку, сформульованому десь після 24 січня 1941 року, стверджував, що здійснити вибух



уранової бомби неможливо і що “пропозиція авторів у цілому інтересу для військово-хімічної справи не містить” [2. С. 220].

Щодо центрифуги, то “пропозиція оригінальна, але спеціальної військової зацікавленості немає”.

Навесні 1941 року заявки потрапили в Радієвий інститут Академії наук СРСР. У висновку уславленого інституту, датованому 17 квітня 1941 року, було, зокрема, написано [2. С. 228]:

“На сьогодні ніде в світі ще не вдалося здійснити такого типу ланцюгову реакцію розпаду урану, ...виходячи з такого становища стосовно заявки слід сказати, що зараз вона не має під собою реального підґрунтя. Крім того, в ній і багато фантастичного.

...Навіть коли б і вдалося реалізувати ланцюгову реакцію, то енергію, що при цьому виділиться, доцільніше використати для приведення в дію двигунів, наприклад, літаків, ніж як вибухові речовини. Що стосується центрифуг, то... жодна з них не може стати реальною установкою, яка може давати розділення ізотопів у кількостях, необхідних для здійснення робіт для їх практичного використання”.

Директор інституту академік
В. Хлопін

В. Хлопін згодом стане одним з творців радянської ядерної зброї, Героєм Соціалістичної Праці та тричі лауреатом Державних премій.

Керуючись цим висновком, помічник начальника Управління Військово-хімічного захисту полковник Полянський повідомив авторам заявки, що ставити питання про практичне використання атомної енергії безпосередньо в Червоній Армії передчасно. Отже, Ф.Ланге, В.Маслову і В.Шпінелю було відмовлено у видачі авторських свідоцтв.

Слід зазначити, що вищого авторитету, ніж Радієвий інститут та його директор В.Хлопін із зазначених питань у державі не було.

Як видно, харківські вчені запропонували технологію виготовлення атомної бомби, зокрема спосіб створення надкритичної маси. Здається, вони першими в світі прийшли до висновку про використання звичайної вибухівки як “запалу” для ініціювання ланцюгової реакції. Надалі усі ядерні бомби підривали саме так. Але рецензенти з Радієвого інституту зосередили свою критику не на конструкції “запалу”, що було предметом винаходу, а на питанні про принципову можливість створити уранову бомбу, яку вони не визнали.

Фрідріх Ланге

(16.12.1899 - 25.07.1987)

Народився у Берліні (Фрідріхсгаген). 1935 року переїхав до Радянського Союзу, де заснував Лабораторію ударних напруг (фактично інститут), підпорядковану Академії Наук СРСР (УФТІ входив до системи Наркомтяжпрому) і був її науковим керівником. У Харкові конструював високовольтні розрядні трубки, на основі яких створював нейтронні генератори та джерела рентгенівського випромінювання. Збудував найбільший на той час у світі генератор Маркса на напругу 5 мільйонів вольт.

У квітні 1940 року Харківський державний університет присудив Ланге ступінь доктора фізико-математичних наук без захисту дисертації.

1941 року Ф. Ланге евакуював і перейшов на роботу до Київського інституту фізики й математики, що знаходився тоді в Уфі. З 1943 р. Ф. Ланге працював в Уральському фізико-технічному інституті в Свердловську, а з 1945 р. — у Москві в Лабораторії № 2, де згодом очолює Лабораторію № 4. У 1951-1952 р. працював у Дніпропетровську, згодом знову у Москві. 1959 року повернувся до Берліну.





Тепер про центрифугу... Відомо, що творці американської уранової бомби обрали для виділення ізотопу урану-235 малоефективний метод газової дифузії. Під їхнім впливом те ж саме зробили й радянські фахівці. Незабаром американці збагнули свою помилку і перейшли на центробіжний спосіб розділення ізотопів урану, який запропонували харківські вчені і відхилили рецензенти. Центрифуга і тепер є основою промислового розділення ізотопів урану.

Харківські винахідники не змирились з негативними відгуками на свої заявки. В.Маслов звернувся з особистим листом до Наркома оборони СРСР Героя і Маршала Радянського Союзу Тимошенка, в якому просив організувати спецлабораторію для проведення експериментальних досліджень з використання атомної енергії у військових цілях [2. С. 224]. З приймальні Наркома запросили все те ж управління хімічного захисту про цінність пропозицій, на що вже відомий нам полковник Полянський повідомив, "про неможливість використання в РСЧА пропозицій В.Маслова та інших". Більше ніяких експертиз Наркомат оборони не проводив.

Невдовзі розпочалася війна...

Наприкінці Другої світової війни, коли світ довідався про народження американської атомної бомби, коли в газетах з'явилися слова "Хіросіма" і "Нагасакі", Відділ винахідництва Наркомату оборони згадав про заявки Маслова-Шпінеля-Ланге і доповів про них Головному маршалові артилерії М. Воронову. За його вказівкою у грудні 1945 року матеріали були підняті й направлені заступникові наркома боеприпасів генерал-майорові Махневу. А в травні нас-

тупного року, тобто через шість (!) років після подачі першої заявки, Відділ винахідництва Міністерства збройних сил СРСР прийняв рішення видати авторські свідоцтва. Так, В.Маслову й В.Шпінелю було видано свідоцтво про винахід атомної бомби під назвою "**Атомна бомба, чи інший боеприпас**". Інші пропозиції також зареєстрували як винаходи — "**Центрифуга для розділення ізотопів**" та "**Спосіб розділення ізотопів центрифугуванням**".

Діяльність ЛУН не мала значного впливу на реалізацію радянського атомного проекту. Причин тому багато, але головні, на наш погляд, дві. Харківські винахідники випередили свій час — держава не була готова займатися атомною бомбою. Коли настав час її робити (фактично 1945 рік), то керівництво радянського атомного проекту пішло шляхом копіювання американської бомби та технології її виготовлення.

Яку ж оцінку сьогодні можна дати винахідникам? Ми зачитуємо уривок з листа московського історика фізики, не називаючи його прізвища: "*Така активна діяльність ЛУН — просто порятунок для нашої фізики, оскільки вона дуже допомагає показати і рівень пропозицій і зняти деякі аспекти, пов'язані з діяльністю розвідки*". Іншими словами, мова йде про те, що радянські фізики попри те, що зробили, за словами генерального конструктора радянської атомної бомби Ю. Харитона "американську бомбу", все ж таки і самі були готові до її створення.

І ще одне. У рамках реалізації радянського атомного проекту в країні була створена низка лабораторій. Лабораторію № 2 очолював сам Ігор Курчатів, науковий керівник

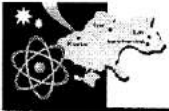
Володимир Шпінель

Народився 4 жовтня 1911 р. у м. Біла Церква, Київської області.

Закінчив фізичний факультет Київського державного університету 1936 року. Фах за освітою — фізик-експериментатор, у царині ядерної фізики та застосувань ядерно-спектроскопічних методів у фізиці твердого діла.

У лабораторії ударних напруг у Харкові закінчив під керівництвом проф. Ф. Ланге аспірантуру при УФТІ. 1940 року захистив дисертацію на тему: "Імпульсний генератор і розрядна трубка на 4 МеВ". У роки Вітчизняної війни виконував практичні роботи для кольорової металургії Казахстану.

Зараз працює професором Московського держуніверситету ім. М. Ломоносова.



уранового проекту. Мало хто знає, що Лабораторія № 1 була створена на базі до-военного УФТІ і очолив її Кирило Синельніков. Було це навесні 1946 року. Для “зовнішнього вжитку” Лабораторія № 1 іменувалась Українським фізико-технічним інститутом Академії Наук УРСР. Можливо, що в присвоєнні харківській лабораторії такого престижного номера зіграла свою роль не лише повага Курчатова до харківських учених і не бажання заплутати іноземні розвідки, а саме та обставина, що перша офіційна звістка про майбутню грізну зброю надійшла до урядових кіл Радянського Союзу саме з УФТІ.

Література

1. David Holloway. Stalin and the Bomb. Yale University Press, 1996.
2. Атомный проект СССР. Т. 1. Ч.1. М.: Наука, 1998.
3. Воспоминания об А.Ф. Иоффе. Л.: Наука, 1973. С. 47.
4. Зельдович Я.Б. и Харитон Ю.Б. Кинетика цепного распада урана. // ЖЭТФ. 1940. Т. 10. Вып. 5, С. 477-482.

Коли журнал був готовий до друку автор статті надіслав до редакції листа В. Шпінеля, який ми наводимо дослівно:

“Дорогий Юрій Миколайовичу !

Я прочитав Вашу статтю і радий був переконатись, що ще не забув української мови. Викладені у ній міркування, які ґрунтуються на опублікованих архівних матеріалах, мені видаються переконливими. У мене є наступні доповнення:

1. У наведеному переліку наших листів у вищій інстанції та заявок відсутня моя пропозиція про розділення ізотопів урану за допомогою магнітного сепаратора. Ця пропозиція була передана ученому секретарю Уранової комісії чл. кор. А. Виноградову (у книгу “Атомный проект СССР” вона не попала). Не пам'ятаю, чи говорив я Вам про це.

2. Доцільно було б послатися на мій огляд “Методы разделения изотопов” (“Природа”, 1940), у якому задується проблема урана.

3. Суттєвішим зауваженням є те, що Ви цитуєте думку Л. Пивовара, який не був ознайомлений з нашими таємними заявками, і у нього склалася упереджена думка. Ця думка не узгоджується з наведеною Вами біографічною довідкою В. Маслова, з якої випливає, що він розповів наші ідеї А. Лейпунському. Згодом ці ідеї були підтримані Ф. Ланге. Були і інші випадки, коли Ф. Ланге підтримував ідеї молодих фізиків. Наприклад, В. Кельман і М. Баскін висунули ідеї, які не підтримав К. Синельніков, і вони перейшли у ЛУН, де продовжували працювати з Ф. Ланге.

З повагою,

В. Шпінель.”

Хотілося б ще раз наголосити, у статті Ю.Ранюка “Хто винайшов атомну бомбу” йдеться про маловідомі факти, не тільки за межами нашої країни чи СРСР, але й в середині них, про ідеї та дослідження, результатом яких було створення атомної бомби та мирне використання ланцюгової реакції.

Досягнення фізики ХХ сторіччя — це результат досліджень не учених-одинаків, а результат колективних зусиль фізиків у цілому світі. Із статті видно, що український внесок у розв'язання проблеми ланцюгової реакції достатньо вагомий. Автор статті Юрій Ранюк — професор інституту, у стінах якого працювали задані учені, розгортались події, про які він пише.

Додамо, Юрій Ранюк готує до друку книгу з цієї проблеми.

ФІЗИКИ Й АСТРОНОМИ Б'ЮТЬ НА СПОЛОХ

Дмитро Таращенко

вчений секретар Відділення фізики й астрономії НАН України,
кандидат фізико-математичних наук

Фізики й астрономи б'ють на сполох: рівень середньої та вищої освіти з фізики й астрономії в Україні катастрофічно падає! Що ж до астрономії, то з нею в середній школі нашої космічної держави, можна сказати, взагалі покінчено: її факультативність означає у наших реаліях те, що її фактично не викладають! Зате про "освіту" пересічного українського громадянина в цій галузі щоденно "дбають" незлічені астрологи, що заповнили своїми віщуваннями шпальти майже всіх газет, теле- і радіоканалів. Фізику в школі поки що викладають, але середній рівень знань учнів вже наближається до критичної межі. Скорочення кількості годин, що відведені на викладання фізики й астрономії у середній школі, складання випускних екзаменів з фізики за вибором, вилучення фізики із вступних випробувань у вищі навчальні заклади природничого та технічного спрямування. Це свідчить про те, що в галузі освіти намітилась негативна тенденція до зниження рівня викладання фізики. Це, на нашу думку, питання державної ваги і його потрібно вирішувати на відповідному рівні.

У шкільних програмах взагалі і з фізики зокрема, наші освітяни намагаються калькувати чужі методики та ідеї. Проте якраз у вивченні фізики нам немає потреби переймати чийсь сумнівний досвід. Наші фізики, як, до речі, і математики, хіміки, біологи, свого часу підготовлені в Україні за традиційними програмами, мають незаперечний авторитет у світі і є бажаним поповненням відомих зарубіжних наукових центрів, які працюють у галузі фізики твердого тіла, фізики плазми, фізичної і квантової електроніки, астрофізики та радіоастрономії. То чи варто відмовлятися від того позитивного, що напрацьовано десятиріччями?

До погіршення фізичної освіти спричинилась і вища школа. В останні роки в технічних університетах України (зокрема у Києві та Харкові) відмінено вступні екзамени з фізики на переважну більшість факультетів. Серед цих факультетів, такі як радіотехнічний, авіаційних і космічних систем, електроніки, електрозварювання, приладобудівний, навіть інженерно-фізичний. На ці факультети абітурієнти складають лише екзамени з української мови і математики. Тільки на фізико-технічному факультеті вступники мають скласти українську мову і — за вибором — математику або фізику. Відсутність екзамену з фізики є свідченням того, що цей предмет перестав бути профільним для майбутніх інженерів, винахідників, і це чітко розуміють усі — й учителі, й учні, і їхні батьки.

Аналогічна ситуація і в деяких педагогічних університетах. Навіть на фізико-математичні факультети абітурієнти не складають вступних випробувань з фізики. Як же можна готувати вчителів фізики, не провівши елементарного фахового відбору. Можливо, що і серед студентів цих навчальних закладів є такі, що в своєму житті самостійно не розв'язали жодної фізичної задачі, а за декілька років вони ж навчатимуть розв'язувати задачі з фізики школярів.

Ланцюжок тягнеться далі: викладачі фізики вищих навчальних закладів, а з ними неминуче і викладачі з решти технічних дисциплін, у розпачі від рівня знань з фізики своїх студентів. За 2-3 семестри викладачі намагаються залатати прогалини їхньої шкільної освіти. Врешті-решт молоді люди одержують дипломи, самі стають інженерами, викладачами, та вчителями фізики, і маховик виродження розкручується. Мине ще трохи часу і не знайдеться гідної зміни в наукових школах, які

плекались цілими десятиріччями та здобували світове визнання.

Не принижуючи значення інших наук, слід все ж наголосити, що саме фізика закладає основи наукового світогляду кожної людини, саме ця наука є основою всього природознавства, а отже, і наукового прогресу людства.

Без належного знання фізики неможливо бути повноцінним інженером або вченим-природознавцем зараз, а тим паче не вдасться ним бути в ХХІ столітті. Дослідження і технології стають дедалі витонченішими, ґрунтуються на пізнанні і використанні все складніших закономірностей природи. Майбутнє країни, яка не в змозі готувати повноцінних технічних спеціаліс-

тів, причому не тільки елітарних, а й масових професій, є примарним.

Наукова громадськість країни занепокоєна такою ситуацією. Ці проблеми сьогодні обговорюються в Національній Академії наук України, на науково-педагогічних конференціях, у пресі. Майже рік тому з ініціативи Відділення фізики і астрономії НАН України група авторитетних учених зустрілась з керівництвом Міністерства освіти і порушила перед ним ці питання. Відповідне звернення до уряду і Президента України підписали 40 дійсних членів та членів-кореспондентів НАН України — учасників зборів Відділення фізики і астрономії НАН України.



У цій публікації не враховані усі причини незадовільного стану вивчення фізики в Україні.

У чому ж на нашу думку полягають ці причини ?

Свого часу провідні фізики нашої країни замкнулись у колі “чистої” науки і зовсім мало приділяли уваги співпраці з фізиками, які працюють на ниві освіти. У складанні навчальних програм, написанні підручників не брали участі визнані та авторитетні фізики, які працювали в Академії наук, науково-дослідних інститутах та вищих навчальних закладах. Це призвело до того, що не вистачає підручників з фізики для студентів, цікавих підручників з фізики для школярів, майже зовсім не видається науково-популярна література. Не популяризувалася фізика та її історія, не була сформована позитивна суспільна думка щодо фізики. І тепер з прикрістю можемо констатувати, що наука яка є фундаментом техніки і технології, матеріального добробуту громадян країни, яка формує науковий спосіб мислення, наше суспільство оцінює як одну з малопrestiжних.

Редакція журналу вважає доцільним продовжувати дискусію з цієї проблеми і сподівається, що спільними зусиллями наукової і педагогічної громадськості країни буде сформована концепція її розв'язання, а складна та неоднозначна ситуація, яка склалась в Україні з викладанням фізики у навчальних закладах України недалекому майбутньому поліпшиться.



Альфред Нобель глибоко володів французькою, німецькою, російською, англійськими мовами. Він захоплювався творчістю Вольтера, Шекспіра, Гюґо, Бальзака та інших. Сам написав низку п'єс, романів та віршів. Однак, понад усе його захолювала хімія. Він винайшов динаміт, хоча сам був противником його використання у військових цілях.

Альфред Нобель щедро підтримував здібних науковців. Він часто повторював: "Невелика допомога — це практично ніщо, і якщо людина вирішила надати допомогу, то має бути щедрою".

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАУРЕАТИ

1988

Відкриття мюонного нейтрино



Леон Ледерман



Мелвін Шварц



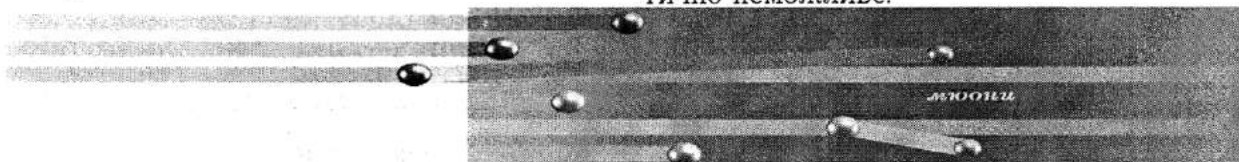
Джек Стейнберґер

Нобелівська премія 1988 р. з фізики присуджена американським фізикам Леону Ледерману, Мелвіну Шварцу та Джеку Стейнберґеру за відкриття мюонного нейтрино. Їх дослідження були виконані понад чверть сторіччя тому, 1962 року.

Серед відомих елементарних частинок виділяються частинки, маса яких менша мас інших відомих елементарних частинок. Ці частинки беруть участь тільки у трьох із чотирьох типів фундаментальних взаємодій — електромагнетній, слабкій і гравітаційній. До цього класу належать електрон, мюон, τ -лептон, електронне, мюонне і таонне нейтрино та їх античастинки. Їх назвали лептонами. Кожному зарядженому лептону (та його античастинці) відповідає певний тип нейтрино (антинейтрино), тобто лептони групуються в пари (дуплети): електрон — електронне нейтрино, мюон — мюонне нейтрино, τ -лептон — τ -лептонне нейтрино. Таке розуміння дуплетної структури лептонів склалося після відкриття мюонного нейтрино.

Відкриття електронного нейтрино бере початок від гіпотези швейцарського фізика-теоретика В.Паулі (1930), згідно якої у процесах β -розпаду атомних ядер поряд з електроном випромінюється нейтральна частинка з півцілим спіном-та масою спокою, близькою до нуля. Таке припущення було зроблено, щоб позбутися труднощів, які виникли у зв'язку з поясненням застосування законів збереження до β -розпаду радіоактивних атомних ядер.

Після відкриття 1932 року нейтрона Е. Фермі, використовуючи гіпотезу про нейтрино, побудував теорію β -розпаду, за якою перетворення нейтрона (протона) у протон (нейтрон) супроводжується народженням електрона (позитрона) та антинейтрино (нейтрино). Теоретичні оцінки проникної здатності нейтрино показали, що довжина його вільного пробігу у речовині величезна і вимірюється світловими роками. Тому довго вважали, що внаслідок такої справді фантастичної проникної здатності спостереження (детектування) цієї частинки практично неможливе.



Сталевий екран



Після створення ядерних реакторів, у яких відбувається β -розпад продуктів ділення ядер урану, Б.Понтекорво 1946 року вказав на можливість прямого спостереження реакції під дією потоку антинейтрино від ядерного реактора: при цьому мізерна ймовірність взаємодії нейтрино з речовиною компенсується дуже великою густиною їх потоку з атомного реактора.

Перші успішні експерименти з безпосереднього виявлення нейтрино виконали американські фізики Ф.Рейнес і К.Коуен 1953-1956 р. Вони спостерігали поглинання антинейтрино від атомного реактора протонами, у результаті чого утворювались нейтрони і позитрони, що відповідним чином надійно детектувались. Це було перше пряме спостереження цієї дивовижної частинки, яка може проникнути через стіну, товщиною в сотні мільярдів кілометрів. У ті ж роки експериментально було доведено, що нейтрино та антинейтрино різні частинки.

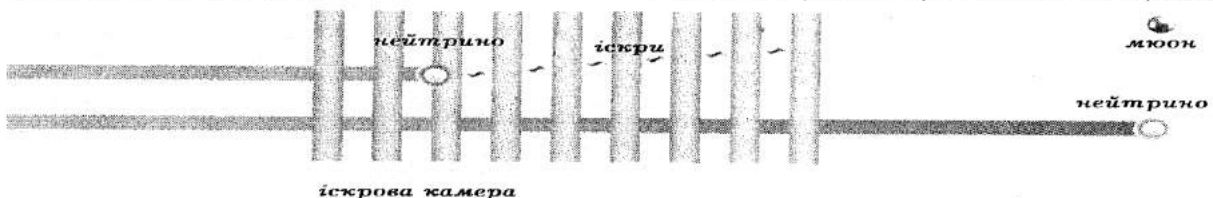
Після відкриття мюонів, π - і K -мезонів було встановлено, що їх розпад супроводжується випромінюванням нейтрино. При цьому π - і K -мезони розпадаються на мюон і нейтрино, а мюон — на електрон (позитрон) і два нейтрино. Уже тоді виникло припущення, що нейтрино, народжене у парі з мюоном відмінне від нейтрино народженого у парі з електроном. Найбільш аргументовані припущення висловили радянський фізик М. Марков, американський — Ю. Швінгер і японський — К. Нішідзіма.

Для експериментальної перевірки цих припущень Б.Понтекорво і незалежно М.Шварц 1959 року запропонували використати потік нейтрино високої енергії, що утворюється при розпаді π -мезонів, які можна отримати за допомогою потужних прискорювачів. При взаємодії таких нейтрино з нуклонами можуть виникати мюони, а у випадку тотожності електронного та мюонного нейтрино — позитрони. Якщо ж в експерименті спостерігатимуться тільки мюони, то це буде доказом існування двох різних типів нейтрино.

Надія на успішне здійснення експериментів, при порівняно невеликій густині нейтринного пучка від протонного прискорювача, пов'язувалась з тим, що ймовірність взаємодії нейтрино з нуклонами швидко зростає з ростом енергії. До того ж розбіжність пучка нейтрино зменшується з ростом енергії внаслідок релятивістських ефектів.

Перший успішний експеримент, що показав існування двох типів нейтрино, здійснили 1962 року Л.Ледерман, М.Шварц і Дж. Стейнбергер на протонному прискорювачі Брукхейвенської Національної Лабораторії у США. Прискорені до 15 GeV протони, бомбардуючи берилієву мішень, породжували багато різних частинок, у тому числі π - і K -мезони, які у цьому експерименті пролітали відстань близько 20 м і розпадались на мюони та нейтрино. Після того наступала ключова стадія експерименту: пучок потрапляв на сталевий екран завтовшки 13,5 м, який затримував мюони та всі інші частинки, крім нейтрино, які без перешкод проникали через сталевий бар'єр. За ним був розміщений новий на той час детектор — так звана іскрова камера, що складалася із 100 алюмінієвих пластин товщиною 2,5 см загальною масою 10 тонн, розділених іскровими проміжками. Експериментатори сподівалися, що потік нейтрино, проходячи через алюмінієві пластини з певною ймовірністю буде взаємодіяти з атомами алюмінію, породжуючи при цих взаємодіях мюон, або електрон. Оскільки між плитами (електродами) була прикладена висока напруга ці частинки могли привести до появи іскрового розряду. Отже, реєстрація іскрового розряду, свідчила про реакцію нейтрино з речовиною алюмінію. Прискорювач працював в імпульсному режимі, що дало змогу врахувати фон, пов'язаний з космічним випромінюванням.

У дослідах, які продовжувались півроку через іскрову камеру пролетіло понад 100 мільйонів нейтрино і було зареєстровано 30 випадків, коли у результаті взаємодії мюонних нейтрино з протонами і нейтронами





народжувались мюони. Тільки у шести випадках були підозри на народження електрона або позитрона, хоча при тотожності електронного і мюонного нейтрино їх повинно було б бути стільки ж, скільки випадків народження мюона.

Отже, у цих експериментах переважно реєструвався мюон, а не електрон. Нейтрино, що виникли під дією пучка протонів ніби пам'ятали про своє походження — народилися при розпадах, в яких з'являлись мюони. При наступній взаємодії вони знову породжували мюони.

Отже, дослідями Л.Ледермана, М.Шварца і Дж. Стейнбергера було доведено існування нового типу нейтрино — мюонного.

1964 року аналогічним експериментом, проведеному в Європейському центрі ядерних досліджень на протонному прискорювачі (28 GeV) був підтверджений цей результат, а потім 1964-1967 роках було доведено відмінність мюонного нейтрино від мюонного антинейтрино.

Експериментальний доказ існування мюонного нейтрино на відміну від електронного мав вирішальне значення для класифікації лептонів, групування їх у дуплети, кожний з яких складається із зарядженого і нейтрального лептона та відповідних античастинок. Це дало змогу природнім чином включити у групу лептонів відкритий 1975 року важкий лептон — t -лептон, який разом з t -лептонним нейтрино також утворює дуплет.

Дуплетна структура лептонів стала одним із вихідних положень для побудови єдиної теорії електромагнетних і слабких взаємодій

(електрослабкої взаємодії) і передбачення існування проміжного Z^0 бозона. Таке уявлення про структуру групи лептонів допомогло встановити аналогічну дуплетну структуру кварків — фундаментальних частинок, з яких побудовані усі сильновзаємодіючі частинки — адрони. На основі цього був зроблений фундаментальний висновок про симетрію між дуплетною структурою лептонів і кварків, що відкрило можливість для побудови єдиної теорії слабких, електромагнетних і сильних взаємодій.

Дослідження, відзначені Нобелівською премією з фізики за 1988 рік, значно вплинули на розвиток експериментальної фізики елементарних частинок. Нейтринні експерименти на прискорювачах стали важливим етапом у вивченні слабких взаємодій, які раніше досліджували лише у процесах розпаду частинок та започаткували низку важливих відкриттів. Використання нейтринних пучків відкрило нові можливості для вивчення внутрішньої структури адронів. У нейтринних експериментах було підтверджено гіпотезу кваркової будови адронів.

Незважаючи на важливість і фундаментальність цього відкриття, ученим довелося чекати свого визнання Нобелівським комітетом 27 років. З цього приводу Дж. Стейнбергер пожартував: "...щоб отримати Нобелівську премію з фізики потрібно в молодості придумати щось надзвичайно нове, а потім лише дуже довго жити..."

Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук

I wish you as much joy
from the study of our wonderful
subject - physics - as I have
had in my lifetime.
John Stachel
1 AUGUST 1999

У серпні 1999 року професор Бостонського Університету (США), директор Айнштайнівського Центру досліджень відвідав редакцію журналу "Світ фізики", детально ознайомився з тематикою видання і планами колективу редакції на майбутнє та для наших читачів залишив побажання:

"Бажаю Вам стільки ж задоволення від вивчення цього чудового предмету — фізики — скільки я мав у своєму житті."

Джон Стачель,
професор Бостонського Університету (США),
директор Айнштайнівського Центру досліджень

XXXVI Всеукраїнська олімпіада з фізики, м. Луганськ, 1999 р.

8 клас

Задача 1.

Два хлопці стояли на горі біля ескалатора метро. Їм захотілося підрахувати кількість східців ескалатора, які знаходяться між входом і виходом з нього, і швидкість руху ескалатора. Однак рахувати рухомі східці виявилось не так просто, і незабаром друзі заплуталися. Тоді вони вирішили застосувати надійніший метод. Вони одночасно стали на ескалатор і пішли вниз по ньому, рахуючи східці, причому перший рухався зі швидкістю $V_1 = 1$ м/с, а другий — зі швидкістю $V_2 = 2$ м/с. Перший нарахував 21 східець, а другий 28. Скільки східців на ескалаторі і яка його швидкість?

Задача 2.

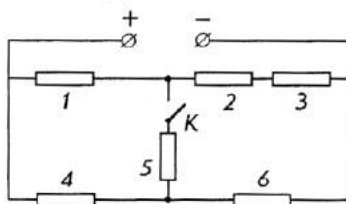
Дві кульки однакового розміру, зв'язані тонкою, довгою і невагомою ниткою, опускаються у воді на до посудини з постійною швидкістю. Нижня кулька виготовлена з алюмінію. Якщо нитку перерізати, то верхня кулька виринатиме з тією самою постійною швидкістю. Визначіть густину ρ матеріалу верхньої кульки, якщо густина алюмінію $\rho_a = 2800$ кг/м³, а густина води $\rho_w = 1000$ кг/м³.

Задача 3.

Електрична піч має три обмотки зі сталеними опорами $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом. Якщо обмотки з'єднані паралельно, то при вмиканні в мережу піч нагрівається на $\Delta T_1 = 300$ °. На скільки градусів (ΔT_2) нагріється піч, якщо її увімкнути в ту ж саму мережу при послідовному з'єднанні обмоток?

Задача 4.

В електричному колі (див. рис.) усі резистори однакові. Джерело струму підтримує постійну напругу між клемми "+" і "-". Який з резисторів після замикання ключа К нагріватиметься так само, як і до замикання, який сильніше, а який слабніше?


Задача 5.

Хлопець упіймав рибику і вирішив її зважити, однак інших інструментів, крім рулетки, у нього не було. Правда, хлопець знав вагу свого вудилища. Як хлопець розв'язав поставлене завдання?

9 клас

Задача 1.

Розвідувальний літак летить на висоті H з постійною швидкістю V . Зенітники виявили літак у той момент, коли він знаходився над ними і відразу випустили снаряд. Якою має бути швидкість літака, щоб снаряд не зміг влучити у нього, якщо максимальна швидкість польоту снаряда U ? Опором повітря знехтувати.

Задача 2.

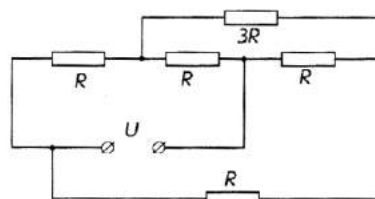
На гладенькій горизонтальній площині лежить дошка масою M і довжиною l . На один край дошки падає маленький брусок зі швидкістю V напрямленою під кутом α до горизонту і ковзає по дошці. Маса бруска m . Коефіцієнт тертя ковзання бруска по дошці μ , тертя між дошкою і площиною відсутнє, прискорення вільного падіння g . Яким має бути мінімальне значення швидкості V , при якому брусок досягне іншого кінця дошки?

Задача 3.

Відомо, що атмосферний тиск на Марсі становить 0,005 частину від атмосферного тиску на Землі. Діаметр Марса приблизно вдвічі менший за земний, середня густина Землі — $5,5 \cdot 10^3$ кг/м³, а Марса — $4 \cdot 10^3$ кг/м³. У скільки разів маса марсіанської атмосфери менша від маси земної?

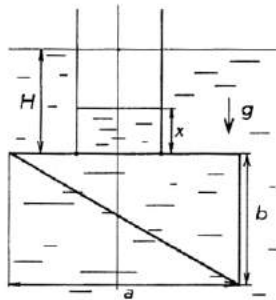
Задача 4.

Якої сили струм проходить через резистор опором $3R$ у колі, схема якого зображена на рисунку? Значення опорів усіх резисторів і напругу U вважати відомими.



Задача 5.

Трубка радіусом r закрита знизу алюмінієвою клиноподібною пластинкою, що в перерізі утворює прямокутний трикутник з катетами a і b , і занурена у воду на глибину H (див. рис.). Верхня грань клина є квадратом зі стороною a , причому вісь трубки проходить через центр квадрата. Тиск води притискає клин до трубки. До якої висоти потрібно налити води у трубку, щоб клин відпав? Якщо алюмінієвий клин замінили на дерев'яний, то до якої висоти необхідно налити води в трубку, щоб клин сплив? Густина води ρ , алюмінію ρ_a , дерева ρ_d . Відстань між віссю трубки та паралельною їй віссю, що проходить через центр маси клина, дорівнює $a/6$.



10 клас

Задача 1.

У посудину, в якій вакуум вривається через малий отвір газ з атмосфери, що має тиск P_0 і температуру T_0 . Знайти температуру газу в посудині на момент, коли його тиск вирівняється з атмосферним. Зважити на те, що час вирівнювання тиску набагато менший, ніж температури.

Задача 2.

Маємо два паралельні нескінченно довгі однаково і рівномірно заряджені циліндричні провідники. Від одного з провідників у площині, перпендикулярній до провідників, відлітає з початковою нульовою швидкістю малий заряд під кутом α до лінії, що сполучає у цій площині провідники. Під яким кутом до цієї лінії буде напрямлена швидкість заряду на великій відстані від системи?

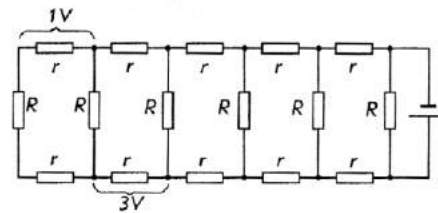
Задача 3.

На рівномірно заряджену сферу радіусом R налітають частинки, кожна з яких має масу m і заряд q , з пучка, що був направлений на сферу

з нескінченності. Якою має бути максимальна ширина цього пучка, щоб усі частинки з нього, що мали початкову швидкість v_0 , потрапили у сферу? Заряд сфери Q . Проаналізуйте результат. Взаємодією між частинками нехтувати.

Задача 4.

Електричне коло, яке складається з резисторів з опорамі R і r (див. рис.), підключене до батареї. Напряга на виділених резисторах дорівнює відповідно 1 і 3 В. Визначіть напругу на клеммах батареї.



Задача 5.

1 моль повітря з відносною вологістю 100 % при температурі 15°C охолодили до температури 5°C під сталим тиском 10 кПа. Яка маса води виділилася з повітря, якщо водяна пара не зазнала переохолодження. Повітря вважати ідеальним газом. Тиск насиченої водяної пари при T дорівнює 5 і 15°C дорівнює відповідно $0,87$ і $1,7$ кПа.

11 клас

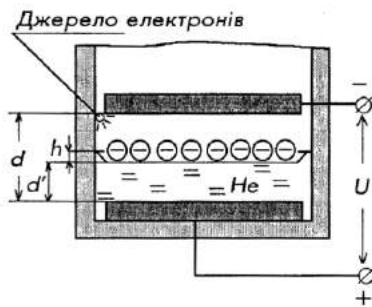
Задача 1.

Йон, що знаходиться у вакуумі над поверхнею діелектрика на відстані R від неї, притягується до поверхні, як можна показати, зі силою $F_d = Ae^2/R^2$, де A — залежить лише від діелектричної проникності діелектрика, e — заряд йона. а) Доведіть, що йон у діелектрику відштовхуватиметься від його поверхні з такою ж за величиною силою.

б) Якщо ввімкнути відповідно напрямлене електричне поле напруженістю E , то йон у діелектрику буде знаходитись на деякій рівноважній відстані R_0 від поверхні і, внаслідок теплових рухів, здійснюватиме малі коливання. Вважаючи твердження у пункті а) доведеним, знайдіть частоту коливань йона.

в) Електрони ззовні діелектрика не проникають в нього завдяки існуванню потенційного бар'єра. Для рідкого гелію він дорівнює приблизно 1eV . Тому малоенергетичні електрони лише ліві-

тують над поверхнею рідкого гелію на деякій рівноважній відстані від неї. Проробимо такий дослід. Розмістімо електроди у вигляді пластин плоского конденсатора один над поверхнею гелію, другий — в об'ємі гелію на відстані d' від його поверхні. До електродів прикладена напруга U . Біля від'ємного електрода є джерело електронів (див. рис.). Електрони втягуються під електрод і під дією електричного поля створюють тиск на поверхню рідкого гелію. Цей тиск компенсується гідростатичним тиском, внаслідок зміни рівня рідкого гелію за межами електродів. Знайти висоту підняття гелію за межами електродів. Густина рідкого гелію ρ і його діелектричну проникність ϵ вважати відомими.



Задача 2.

Космічний корабель масою m , пролітаючи повз зірку з потужним випромінюванням, потрапляє у полон до неї на колову орбіту з деяким радіусом R_0 . Щоб звільнитись від полону та зекономити паливо, корабель відкрив світловий парус — тонку дзеркальну плівку у формі круга з радіусом r , який весь час спрямований на зірку. а) Яким має бути радіус паруса, щоб корабель міг перейти на еліптичну орбіту з відстанню до зірки в апогеї $R_1 = 100 R_0$, де планується увімкнути основний двигун? Випромінювання зірки ізотропне, його потужність (енергія, яку випромінює зірка за одиницю часу) L .

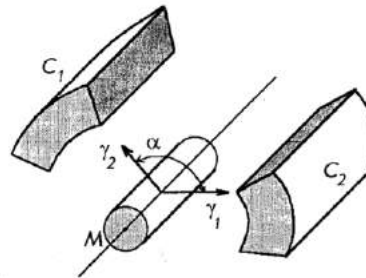
в) Виконайте чисельні розрахунки для випадку Сонця. Тут відомо, що: $L = 3,86 \cdot 10^{26}$ Вт, маса Сонця $M = 2 \cdot 10^{30}$ кг, гравітаційна постійна $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Дж м/кг², $m = 10^4$ кг. *Примітка:* За законами Кеплера, замкнуті траєкторії замкнутих небесних тіл (зумовлені гравітаційними силами) мають форму еліпса або кола. При русі тіла по такій траєкторії добуток $v R$ (секторіальна швидкість) залишається сталим за величиною, тут v — лінійна швидкість тіла по траєкторії, R — його відстань до джерела гравітації.

Задача 3.

Заряджений конденсатор ємністю C приєднали до котушки індуктивності L . Як повинна залежати від часу ємність конденсатора, щоб струм у колі зростав прямо пропорційно часові?

Задача 4.

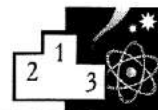
У зразку M народжуються π^0 — мезони, які розпадаються на два фотони. Останні реєструються двома симетрично розташованими лічильниками (див. рис.). Одночасне спрацювання лічильників означає, що два фотони народились в один і той же час від одного ж і того ж мезона. Коли лічильники почали зводити ближче один до одного, то починаючи з деякого кута між ними, одночасні спрацювання лічильників різко впали до нуля. Використавши цей факт, отримайте формулу для визначення швидкості π^0 — мезонів, що народжуються.



Задача 5.

Перед тонкою двоопуклою лінзою з однаковими радіусами кривизни поверхонь стоїть запалена свічка. Коли здалеку дивитись на лінзу збоку свічки, то бачимо два зображення свічки — пряме і перевернуте. Перевернуте зображення в $k = 5/4$ разів більше за пряме. Яке зображення свічки побачимо, якщо дивитись на неї здалеку з другої боку лінзи? Лінза виготовлена зі скла з відносним показником заломлення $n = 3/2$. Поверхня лінзи частково відбиває світлові промені, але кожен промінь не більше одного разу. Фокусна відстань лінзи і радіуси кривизни її поверхонь пов'язані співвідношенням:

$$(1/f) = (n - 1)[(1/R_1 + 1/R_2)].$$



Задачі VIII Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків, 2000 р.

*Наука изоцряет ум, ученье вострит
память*

(Козьма Прутков, афоризм № 7)

1. "Придумай сам"

Запропонуйте безконтактний метод визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини і оцініть його точність.

2. "Водяний кулемет"

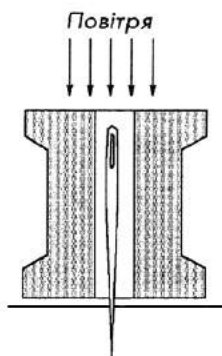
Визначіть дальність дії водяної "зброї", виготовленої із пласмасової пляшки, у корку якої зроблено отвір. "Зброя" діє при використанні зусилля рук.

3. "Гусарська парасолька"

В одному кінофільмі є епізод: під час дощу декілька гусарів вискочили на відкрите місце і почали над собою швидко розмахувати шаблями, створюючи так звану парасольку. Яка мінімальна швидкість, з якою гусар повинен обертати шаблемою, щоб парасолька пропускала не більше заданої частини потоку, наприклад 20 %?

4. "Пневматичний генератор"

Якщо вдувати повітря у пристрій, виготовлений із котушки з під ниток та аркуша паперу, пронизаного швейною голкою, то у ньому виникнуть автоколивання (див. рис.). Дослідіть це явище.



5. "Не послизніться!"

Як зміняться умови ковзання на мармуровій підлозі, якщо на неї насипати тонкий шар піску?

6. "Тиша"

На яку відстань у лісі проникає вітер? Підказки: можна розглянути двовимірну спрощену модель, передбачаючи, що:

а) дерева є довгими циліндрами з відомими радіусами;

в) швидкість вітру мала, так що турбулентність можна знехтувати.

Тоді для цієї моделі можна визначити залежність різниці тисків повітря "до" та "після" лісу від ширини лісного масиву, швидкості вітру, параметрів густоти лісу.

7. "Знову точка Кюрі"

Російський учений Ф. Шведов запропонував конструкцію двигуна, що складається із розміщеного на валу млинка, який зроблений із нікелевих стрижнів, свічки і магніта. Спробуйте за допомогою цього обладнання виготовити двигун з максимально можливим к.к.д. та продемонструйте його роботу. Як можна досягти максимальної кількості обертів млинка.

8. "Телеграф Ерстеда"

На початку розвитку радіотехніки результати класичних дослідів Ерстеда по взаємодії провідника із струмом та магнітної стрілки використовувались для здійснення телеграфного зв'язку. Спробуйте виготовити аналогічний "телеграф", що має максимально можливу швидкість передачі і прийому сигналів азбуки Морзе.

9. "Двірник"

Іноді двірники вимітають мітлою калюжі. Якою повинна бути мітла, щоб цей процес займав якомога менше часу при одній і тій же затраченій потужності?

**10. "Від одного сірника"**

Одним сірником не можна підпалити колоду, однак можна підпалити тоненьку тріску. Оцініть критичні розміри дерев'яної палиці, що запалюється від одного сірника.

11. "Калька-саморобка"

Прозорість аркуша паперу змінюється, якщо його просочити парафіном. Наскільки прозорим можна зробити аркуш паперу таким чином?

12. "Гейзерна кухня"

У каструлі закипає вода. У цей час воду приводять у стан обертання. Опишіть і поясніть явища, які під час цього спостерігаються. (Будьте обережні під час експериментів!).

13. "У печері"

Оцініть відстань, на якій спостерігач, що стоїть біля входу до печери в сонячний день, ще може бачити людину у білому одязі, яка знаходиться у глибині печери.

14. "Звукоізоляція"

Як залежить інтенсивність звуку, що пройшов через вікно, від параметрів вікна? Розгляньте випадок вікна з двох рам.

15. "Килим"

Як сильно можна скрутити килим, щоб він був таким же міцним, як і колода таких розмірів?

Бажано розглянути такі питання:

а) визначить роботу по ущільненню згорнутого килима, яка виконується за рахунок розтягу вільного кінця (згорнутий кінець усередині);

б) розгляньте наближення по малому параметру $d/R \ll 1$, де d - товщина килима, R - радіус згорнутого килима, допускаючи, що коефіцієнт тертя між окремими шарами килима μ . У межах цієї моделі визначить роботу малого прогину.

16. "Плазма"

Дослідіть електропровідність полум'я свічки. Розгляньте вплив форми та полярності підключення електродів та інших факторів. (Проводьте дослідження при напругах менших 150 В).

17. "Бузковий туман"

*Бузковий туман
Над нами пропливає,
Над тамбуром горить
Полярная зоря.*

За яких умов можна спостерігати такий туман? Запропонуйте конструкцію установки для спостереження бузкового туману.

Задачі запропонували:

І.С.Альтман, П.А. Віктор, К. Главацький, В.О. Заблоцький (м. Донецьк), В.Я. Колебошин, С.П. Колос (м. Остін, США), Б.Г. Кремінський (м. Київ), В.Л. Кулінський, В.Л. Манакин, І.Ю. Ненашев (м. Харків), П.Ф. Пшеничка (м. Чернівці), Р.Р. Степанян, О.Г. Шевчук (м. Ніжин).

Міністерство освіти України, Рішельєвський ліцей м. Одеси, учбово-виробничий центр "Інтелект" проведуть Восьмий відкритий Всеукраїнський Турнір Юних Фізиків у лютому 2000 року у м. Одесі.

За правилами заочного турніру усі команди проходять заочний відбірковий конкурс. Для цього кожна команда повинна надіслати рішення 4-5 завдань.

Завдання відправляйте разом із заявою не пізніше 30-го грудня 1999 року за адресою:

м. Одеса, вул. Дворянська, 2, Одеський державний університет.



Віртуальні м'ячі

На сьомому Всеукраїнському турнірі юних фізиків була запропонована задача: "Двоє космонавтів у невагомості початково рухаються назустріч один одному. Під час руху вони перекидаються двома м'ячами. Визначте параметри їх розсіювання при такій взаємодії."

Для того, щоб розв'язати цю задачу, зробимо деякі припущення. По-перше, вважатимемо космонавтів і м'ячі кулями для того, щоб не враховувати їх обертального руху, який може виникнути у процесі прийому або кидання м'яча. По-друге, вважатимемо що рух центрів мас космонавтів та м'ячів відбуваються по одній прямій. У загальному випадку їх рух повинен би відбуватися по деяких кривих, але тоді космонавтам важко було б "прицілюватись" один в одного, тому реально така взаємодія не могла б тривати довго. Це стосується і першого припущення.

Обґрунтувавши наші припущення, приступимо до створення моделі "взаємодії". Для спрощення розв'язку вважатимемо, що маси космонавтів і м'ячів відповідно рівні між собою і дорівнюють M і m відповідно; початкова швидкість космонавтів з м'ячами V_0 відносно нерухомої системи координат.

1. Розгляньмо процес кидання м'яча космонавтом. Нехай при кожному такому киданні космонавтові передається деякий середній імпульс p_0 .

При цьому за законом збереження імпульсу, швидкість космонавта зміниться на

$$\Delta V_k = -p_0/M, \quad (1)$$

(додатнім вважаємо напрямом на другого космонавта); швидкість м'яча змінилася на

$$\Delta U_k = p_0/m. \quad (2)$$

Після цього швидкість космонавтів і м'ячів дорівнюватимуть відповідно

$$V_{k1} = V_0 + \Delta V_k = V_0 - p_0/M; \quad (3)$$

$$U_{k1} = V_0 + \Delta U_k = V_0 + p_0/m. \quad (4)$$

2. Після цієї взаємодії м'ячі рухатимуться назустріч один одному, і тому зрозуміло, що вони зіткнуться між собою. Оскільки перед

зіткненням швидкості і маси м'ячів були відповідно рівними (за модулем) і швидкості будуть протилежні за знаком, то за законом збереження імпульсу після зіткнення (удар абсолютно пружний у наближенні) їх швидкості зміняться на протилежні. Тому ми можемо вважати, що м'ячі "пройшли один крізь одного". Час їх зіткнення прямує до нуля, тому ним можна знехтувати.

3. Якщо $U_{k0} + V_{k1} > 0$, то колись м'яч зіткнеться з космонавтом. При цьому космонавт зловить його, тобто матимемо абсолютно непружний удар. Запишемо закон збереження імпульсу:

$$(M + m)V_1 = MV_{k1} - mU_{k1}, \quad (5)$$

де V_1 - швидкість космонавта з м'ячем після зіткнення. Звідси :

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{MV_{k1} - mU_{k1}}{M + m} = \\ &= \frac{MV_0 - p_0 - (mV_0 + p_0)}{M + m} = \\ &= \frac{M - m}{M + m} V_0 - \frac{2p_0}{M + m}. \end{aligned} \quad (6)$$

4. Зрозуміло, що між цим прийомом м'яча і наступним киданням мине деякий час τ , тому можливі два випадки подальшого розвитку подій:

а) Космонавти не зіткнуться між собою, тоді після того, як пройде цей час τ , то повторюватиметься операція 1. В такому випадку після деякого (критичного) кидання м'яча імпульс імпульс космонавта може стати меншим по модулю за p_0 , і після наступного прийому м'яча космонавти почнуть рухатись в різні сторони.

б) Космонавти зіткнуться між собою за цей час τ .

Розгляньмо випадок а).

Нехай: V_{ki} - швидкість космонавта після i -го кидання, U_{ki} - швидкість м'яча піс-

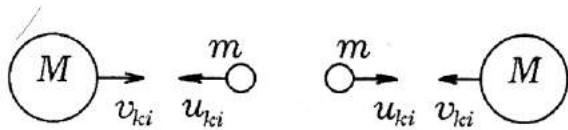


Рис. 1а

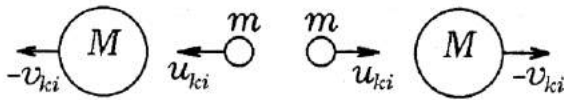


Рис. 1б

ля i -го кидання, V_i - швидкість космонавта з м'ячем після i -го прийому м'яча.

Після декількох повторень операцій 1 і 3 приходимо до таких формул, справедливості яких доводиться методом математичної індукції.

$$V_{ki} = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^{i-1} \left(V_0 + \frac{p_0}{m}\right) - \frac{p_0(M+m)}{Mm}, \quad (7)$$

$$U_{ki} = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^{i-1} \left(V_0 + \frac{p_0}{m}\right), \quad (8)$$

$$V_i = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^i \left(V_0 + \frac{p_0}{m}\right) - \frac{p_0}{m}. \quad (9)$$

Рисунки 1а і 1б зображують ту саму подію, але з рисунка 1б видно, що коли $U_{ki} = -V_{ki}$ то м'яч ніколи не наздожене космонавта. Подивимося чи це можливо. Нехай $U_{ki} = -V_{ki}$, тоді з формул (7) і (8):

$$U_{ki} = \left(\frac{M-m}{M+m}\right)^{i-1} \left(V_0 + \frac{p_0}{m}\right) = \frac{p_0(M+m)}{2Mm}.$$

З цієї формули видно, що рівність $U_{ki} = -V_{ki}$ обов'язково настане при деякому i . Отже, у результаті взаємодії повинна встановитись кінцева швидкість космонавтів

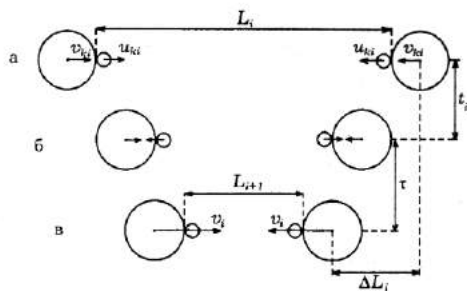


Рис. 2

$$V_k = -U_k = -\frac{p_0(M+m)}{2Mm}. \quad (10)$$

Знайдімо залежність швидкості космонавтів V , відстань між космонавтами l від часу t . Нехай початкова відстань між космонавтами L_0 , L_i - відстань між космонавтами після i -го кидання м'яча, тоді $L_1 = L_0$. Розглянемо рисунок 2:

Нехай t_i - час між i -ми киданням і прийомом м'яча, ΔL_i - відстань, яку пройде космонавт між i -тим і $(i+1)$ -м киданнями м'яча. Тоді:

$$t_i = \frac{L_i}{V_{ki} + U_{ki}}. \quad (11)$$

Протягом цього часу швидкість космонавтів буде сталою, а відстань між космонавтами змінюватиметься за законом:

$$l_i(\Delta t) = L_i - 2V_{ki}\Delta t; \quad (12)$$

Δt - час, який минув з моменту i -го кидання. Через час $\Delta t = t_i$ швидкості космонавтів стануть рівні: $V = V_i$.

Після цього протягом часу τ , якщо не буде зіткнення між космонавтами, то відстань між ними і їх швидкості змінюватимуться за законом:

$$l_i(\Delta t) = L_i - 2V_{ki}t - 2V_i(\Delta t - t_i); \quad (13)$$

Після часу τ швидкість космонавта знову зміниться і стане рівною V_{ki+1} ;

$$\Delta L_i = \frac{1}{2}(l_i(t_i + \tau) - L_i);$$

$$L_{i+1} = L_i + 2\Delta L_i = l_i(t_i + \tau); \quad (14)$$

б) Якщо через час $\tau_1 \leq \tau$ після i -го прийому м'яча відбулося зіткнення, то при цьому швидкість космонавтів за законом збереження імпульсу зміниться на протилежну, $V_d = -V_i$;

I. Якщо $V_d \leq V_k$, то надалі швидкість космонавтів не змінюватиметься, тоді як відстань між ними змінюватиметься за законом

$$l_i(\Delta t) = V_i(\Delta t - t_i - \tau_1). \quad (15)$$

II. Якщо $V_d > V_k$, то при $\Delta t < t_i + \tau$ залежність відстані між космонавтами від часу описуватиметься формулою (15).



Потім швидкості космонавтів і м'ячів V_{ki} , U_{ki} , V_i , при $i_1 > i$ потрібно виразити через $\Delta i = i_1 - i$, як

$$V_{ki_1} = \left(\frac{M-m}{M+m} \right)^{\Delta i - 1} (V_{\Delta} + p_0/m) - \frac{p_0(M+m)}{Mm}; \quad (16)$$

$$U_{ki_1} = \left(\frac{M-m}{M+m} \right)^{\Delta i - 1} (V_{\Delta} + p_0/m); \quad (17)$$

$$V_{i_1} = \left(\frac{M-m}{M+m} \right)^{\Delta i} (V_{\Delta} + p_0/m) - \frac{p_0}{m}; \quad (18)$$

L_{i+1} потрібно подати як:

$$L_{i+1} = V_i (\Delta t - t_i - \tau), \quad (19)$$

потім повернутися до формули (11), де замість i покласти $i_1 = 1 + i$.

З рівності (10) можна визначити, скільки кидків i_0 зроблять космонавти в процесі своєї "взаємодії", якщо вони не зіткнуться:

$$\left(\frac{M-m}{M+m} \right)^{i_0 - 1} (V_0 + p_0/m) \leq \frac{p_0(M+m)}{2Mm}.$$

Якщо врахувати, що $M \gg m$, а $\ln(1 + \alpha) \xrightarrow{\alpha \rightarrow 0} \alpha$, то

$$i_0 \sim \frac{M}{4m} \left(1 + \frac{2}{1 + p_0/(mV_0)} \right). \quad (20)$$

Обчислювальна програма, яка складена на основі формул (11)-(19), дозволяє одержати графіки залежності $V(t)$ і $L(t)$ для різних початкових значень V_0 , M , m , p_0 , τ .

Схематично графіки залежностей швидкостей космонавтів та віддалі між ними від часу матимуть вигляд, що зображений на рис. 3, якщо вони зіткнуться, та на рис. 4, якщо вони не зіткнуться. Ці графіки побудовані для великої кількості кидань, тому східчастий характер залежності швидкості і ламана зміни віддалі на них згладжені.

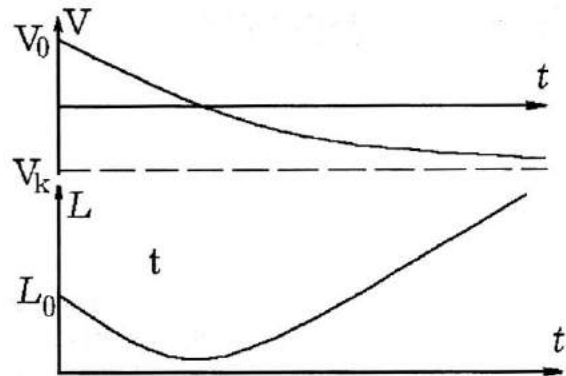


Рис. 3

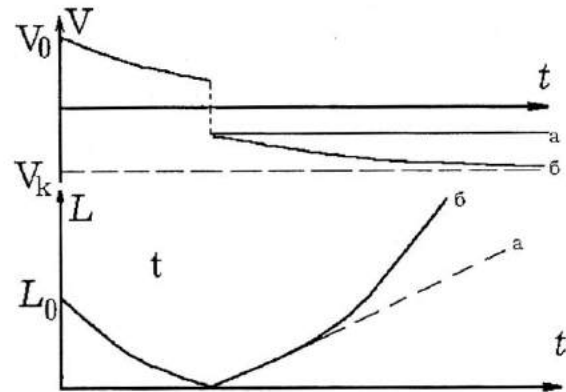


Рис. 4

Коли час прямує до безмежності, швидкості космонавтів наближаються до сталої величини, а віддалі між ними лінійно зростають.

Як видно з рис. 4, після зіткнення космонавтів, їх швидкості та віддалі між ними, в залежності від співвідношення між швидкістю космонавта та м'яча, можуть мати різні залежності (а або б).

Отже, одержаний розв'язок передбачає різні варіанти розсіювання космонавтів, які залежать від імпульсу p_0 (дії м'язів космонавтів).

Володимир Хороз, Львівський фізико-математичний лицей.

Віталій Лесівців, фізичний факультет Львівського державного університету ім.І.Франка.

Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики 1999 р.

(Умови задач див. у журналі "Світ фізики" 1999. № 3(7))

8 клас

Задача 1.

Нехай: u - швидкість ескалатора; l - довжина ескалатора; t - час одного кроку першого хлопця; $t/2$ - час одного кроку другого хлопця; t_1 - час руху першого хлопця по рухомому ескалатору; t_2 - час руху другого хлопця по нерухомому ескалатору; t - час руху першого хлопця по нерухомому ескалатору. Тоді:

$$P = \frac{t_1}{t}, \quad q = \frac{2t_2}{t}, \quad N = \frac{t}{t}, \quad (1)$$

де N - кількість сходінок ескалатора.

Складемо рівняння:

$$(v_1 + u)t_1 = l; \quad (2)$$

$$(v_2 + u)t_2 = l; \quad (3)$$

$$v_1 t = l. \quad (4)$$

Розв'язавши систему рівнянь (1)-(4), отримаємо:

$$u = \frac{v_2 q - v_1 \cdot 2P}{2P - q} = 1 \text{ м/с};$$

$$N = P \frac{v_1 + u}{v_1} = 42 \text{ сходінок.}$$

Задача 2.

Тіло рухається рівномірно, це означає, що сили, які діють на кожну кульку, є скомпенсовані.

$$F_0 + F_A = m_1 g + T; \quad (1)$$

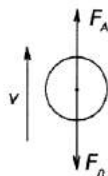
$$F_0 + T + F_A = m_2 g. \quad (2)$$

F_0 - сила опору, що діє на рухому кульку збоку рідини (пропорційна швидкості кульки), T - сила натягу нитки, $F_A = r_x g V$ - сила Архімеда, $m_1 g = r_x V g$ - маса верхньої кульки, $m_2 g = r_x V g$ - маса

алюмінієвої кульки.

У випадку руху вгору маємо:

$F_A = F_0$ (3) - сила опору не змінилась (швидкість не змінилась). Розв'язавши систему рівнянь (1)-(3), отримаємо:



$$\rho_x = \frac{4\rho_s - \rho_a}{3} = 400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Задача 3.

Гранична температура пічки визначається тепловим балансом: кількість теплоти Q , що виділяється під час проходження струму в обмотці, повинна дорівнювати кількості теплоти, що віддається довколишньому середовищу W . Із закону Ньютона для теплообміну відомо $W = \alpha \Delta T$, тобто віддана енергія прямо пропорційна різниці температур тіла і довколишнього середовища.

Для паралельного з'єднання маємо:

$$\alpha \Delta T_1 = \frac{U^2 (R_1 + R_2)}{R_1 R_2}; \quad (1)$$

Для послідовного з'єднання:

$$\alpha \Delta T_2 = \frac{U^2}{R_1 + R_2}. \quad (2)$$

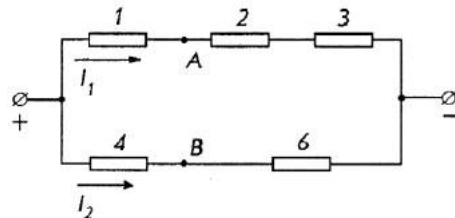
α - в обох випадках однакове, умови теплообміну однакові.

Поділивши (2) на (1), отримаємо:

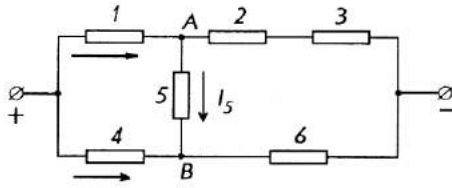
$$\Delta T_2 = \Delta T_1 \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} = 66^\circ.$$

Задача 4.

1-й спосіб.



Усі резистори однакові $\rightarrow I_2 > I_1$; $U_4 > U_1$, тобто потенціал точки А більший від потенціалу точки В. При замиканні ділянки АВ через неї піде струм.



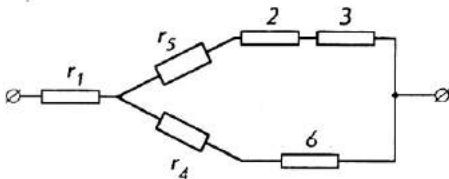
Це означає, що струм через R_{23} має зменшитись, $I_{23} = I_1 - I_5$, відповідно і напруга U_{23} зменшується, але $U_1 + U_{23} = \text{const} = U_{\text{джерела}}$, звідси випливає, що U_1 збільшується.

Струм $I_6 = I_4 + I_5$ збільшується, відповідно зростає напруга U_6 , зменшується напруга U_4 .

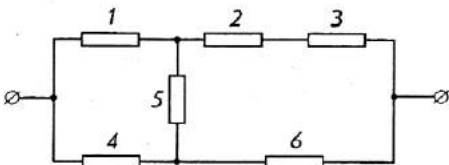
Висновки. На резисторах R_1, R_5, R_6 виділення теплоти зростає, а резистори R_4, R_2, R_3 — дещо охолонуть.

2-й спосіб.

Задачу можна розв'язати, розраховуючи електричні кола. У другому випадку, при розрахунку необхідно скористатися заміною трикутника R_1, R_5, R_4 на зірку r_1, r_5, r_4 (де, враховуючи, що $R_1 = R_5 = R_4 = R$, буде $r_1 = r_5 = r_4 = R/3$).



Розрахувавши еквівалентне коло, визначимо U_{23} і U_6 , далі, знаючи ці напруги, треба повернутися до початкового кола



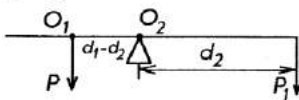
і розрахувати U_1 і U_4 . Далі робляться висновки.

Задача 5.

Поклавши вудлице на палець, визначимо центр тяжіння $O_1 - d_1$.



Причепивши за кінець вудлиця рибину, визначимо точку O_2 .

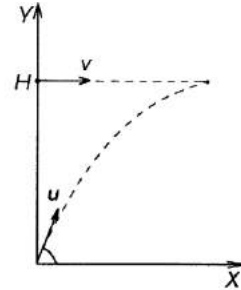


Тоді

$$P(d_1 - d_2) = P_1 d_2 \Rightarrow P_1 = P \frac{d_1 - d_2}{d_2}$$

9 клас

Задача 1.



1. Якщо $H > \frac{u^2}{2g} \Rightarrow u < \sqrt{2gH}$, снаряд не потратить.

2. Якщо $u > \sqrt{2gH}$, то маємо:

По ОХ:

$$vt = u \cos \alpha \cdot t \Rightarrow \cos \alpha = \frac{v}{u} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{u^2}} \quad (1)$$

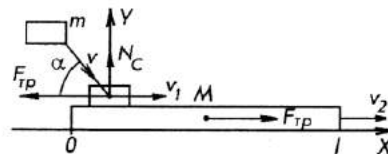
По ОУ:

$$H = u \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Звідси випливає, що снаряд не влучає в літак, це означає, що зустріч не відбулася, тобто дискримінант цього рівняння від'ємний:

$$u^2 - v^2 - 2gH < 0 \Rightarrow v > \sqrt{u^2 - 2gH}$$

Задача 2.



Розглянемо удар, для чого запишемо Другий закон Ньютона у вигляді $\vec{F}dt = \vec{p} - \vec{p}_0$, для тіла m .

$$\text{ОУ: } N_c \Delta t = m v \sin \alpha; \quad (1)$$

$$\text{ОХ: } -\mu N_c \Delta t = m v_1 - m v \cos \alpha, \quad (2)$$

де N_c - середня сила реакції опори під час удару.

З (1) і (2) отримаємо

$$v_1 = v(\cos \alpha - \mu \sin \alpha). \quad (3)$$

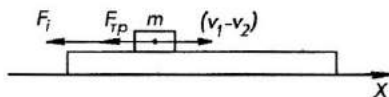
Для дошки маємо:

$$\text{ОХ: } \mu N_c \Delta t = M v_2 \Rightarrow v_2 = \mu \frac{m}{M} v \sin \alpha \quad (4)$$

Тіло буде ковзати по дошці за умови, що:

$$v_1 > v_2 \Rightarrow \mu < \frac{M \operatorname{ctg} \alpha}{M + m}$$

Перейдемо в неінерціальну систему відліку дошки, що рухається під дією $F_{\text{мп}} = \mu mg$. Прискорення цієї системи $\alpha_g = \mu mg/M$.



По ОХ:

$$m a = -m a_g - \mu m g = -\mu m g \left(\frac{m}{M} + 1 \right)$$

$$l = -\frac{(v_1 - v_2)^2}{2a} =$$

$$= \frac{\left(v(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - \mu \frac{m}{M} v \sin \alpha \right)^2}{2\mu g \left(\frac{m}{M} + 1 \right)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \frac{\sqrt{2\mu l g \left(\frac{m}{M} + 1 \right)}}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha \left(1 + \frac{m}{M} \right)}$$

при такому мінімальному значенні швидкості брусок досягне кінця дошки.

Задача 3.

P_0 - атмосферний тиск на Землі, P_M - на Марсі. Атмосферний тиск виникає внаслідок притягання атмосфери до планети. Враховуючи, що розміри атмосфери незначні у порівнянні з розмірами планет, можна записати:

$$m_3 g_3 = P_0 S_3 \Rightarrow m_3 = \frac{4\pi R_3^2 P_0}{g_3}, \quad (1)$$

$$m_M g_M = P_M S_M \Rightarrow m_M = \frac{4\pi R_M^2 \alpha P_0}{g_M}, \quad (2)$$

Прискорення вільного падіння планет:

$$g_3 = \gamma \frac{M_3}{R_3^2} = \gamma \rho_3 \frac{4}{3} \pi R_3$$

$$g_M = \gamma \frac{M_M}{R_M^2} = \gamma \rho_M \frac{4}{3} \pi R_M \Rightarrow$$

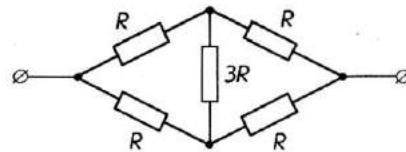
$$\Rightarrow \frac{g_M}{g_3} = \frac{\rho_M R_M}{\rho_3 R_3} \quad (3)$$

Поділимо (1) на (2), враховуючи (3), отримаємо:

$$\frac{m_3}{m_M} = \frac{\rho_M R_3}{\alpha \rho_3 R_M}$$

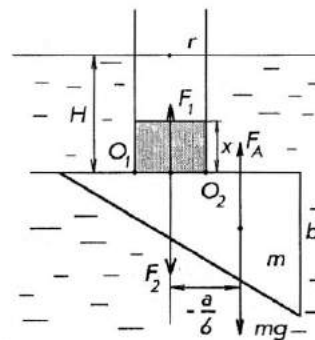
Задача 4.

Зобразимо це електричне коло зручніше:



Як видно, це збалансований місток Уїтстона, тому струм через резистор $3R$ дорівнює нулеві.

Задача 5.



Про природу та точки прикладання сил F_1 і F_A ми вже писали (див. "Світ фізики". 1999. № 1).

$$m = \frac{a^2 b}{2} \rho_k; \quad F_A = \frac{a^2 b}{2} \rho g;$$

$$F_1 = \rho g H \pi r^2; \quad F_2 = \rho g x \pi r^2;$$

1. Можливі два випадки відпадання клина:

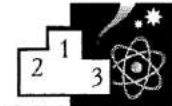
а) клин відпадає, обертаючись навколо осі O_1 , тоді з умови рівноваги моментів відносно осі O_1 маємо:

$$F_1 r + F_A \left(r + \frac{a}{6} \right) - F_2 r - mg \left(r - \frac{a}{6} \right) = 0$$

Звідси випливає

$$x_1 = H + \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho} \right) \frac{a^2 b}{2 \pi r^2} \left(1 + \frac{a}{6r} \right),$$

відпаде при $x \geq x_1$.



б) клин відпадає без обертання, тоді необхідна умова:

$$mg + F_2 \geq F_A + F_1 \Rightarrow \\ \Rightarrow x_2 \geq H + \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) \frac{a^2 b}{2\pi r^2}.$$

У випадку б) клин відпадає при меншій висоті стовпа рідини. Клин відпаде при

$$x \geq H + \left(1 - \frac{\rho}{\rho_0}\right) \frac{a^2 b}{2\pi r^2}.$$

2. Якщо клин замінити на дерев'яний, то він буде впливати, обертаючись навколо осі O_2 , тоді:

$$F_A \left(\frac{a}{6} - r\right) + F_2 r - mg \left(\frac{a}{6} - r\right) - Fr = 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow x \geq H - \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho_0}\right) \frac{a^2 b}{2\pi r^2} \left(\frac{a}{6r} - 1\right).$$

Розв'язки підготував
Володимир Алексейчук

Чи знаєте Ви що...

Леонардо да Вінчі (15.IV 1452 - 2.V 1519) — італійський художник, учений і винахідник.

Його наукові праці присвячені математиці, механіці, фізиці, астрономії, геології, ботаніці, анатомії. Він розумів природу інерції та те, що дія рівна протидії, досліджував вільне падіння і рух тіла, кинутого горизонтально. Визначив центр ваги різних тіл, наприклад, півкола і тетраедра, вивчав тертя (визначив коефіцієнти тертя, ковзання і кочення). Близько підійшов до відкриття закону сполучених посудин, встановленого пізніше Б.Паскалем. Відкрив існування опору середовища і піднімальну силу.



Відомий також як конструктор різних літальних апаратів, ткацьких станків, друкарських, землерийних машин. У його рукописах наведені рисунки парашута і гелікоптера.

Нещодавно стало відомо, що появою автомобільної подушки безпеки, яка щорічно рятує десятки тисяч життів у автомобільних катастрофах людство теж завдячує геніальному Леонардо да Вінчі. Це стверджує італійський історик Алессандро Віццозі, один із сучасних дослідників його творчості. Висновки історика ґрунтуються на знахідці, зробленій під час вивчення праці Леонардо да Вінчі "Кодекс пташиного польоту", що зберігається у Королівській бібліотеці у м. Турін (Італія). Увагу Віццозі привернув один з малюнків на сторінках "Кодекса" датований 1504 роком, на якому рукою да Вінчі зображено людину, оточену шкіряними міхами, заповненими повітрям.

Зроблений Леонардо підпис під малюнком пояснює, що людина, яка одягла такі міхи, падаючи з висоти на землю чи воду, залишиться неушкодженою.

Розв'язки задач обласної олімпіади з фізики школярів Львівщини 1998 р.

(Умови задач див. у журналі "Світ фізики" 1999. № 1(5))

8 клас

Задача 1.

$m = 0.5 \text{ кг}$; $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $m_l = 1 \text{ кг}$; $t_l = -40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Обчислимо, яку кількість теплоти може віддати вода, охолонувши до $0 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_v = c_v m t = 4200 \cdot 0.5 \cdot 20 = 42000 \text{ Дж.}$$

Обчислимо теплоту, що необхідно надати льодові для нагрівання до $0 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_l = c_l m |t_l| = 2100 \cdot 1 \cdot 40 = 84000 \text{ Дж.}$$

$Q_l > Q_v \Rightarrow$ вода охолоне до $0 \text{ }^\circ\text{C}$ і почне кристалізуватися. Обчислимо теплоту, що виділиться при кристалізації:

$$Q_{кр} = \lambda m = 330000 \cdot 0.5 = 165000 \text{ Дж.}$$

$Q_{кр} + Q_v > Q_l \Rightarrow$ вода кристалізується частково, кінцева температура системи $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Запишемо рівняння теплового балансу:

$$Q_l = Q_{кр} + Q_v, \quad Q_l = Q_v + \lambda m_1 \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow m_1 &= \frac{Q_{кр} - Q_v}{\lambda} = \frac{84000 - 42000}{330000} = \\ &= \frac{42}{330} = 0.13 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Кінцева маса льоду:

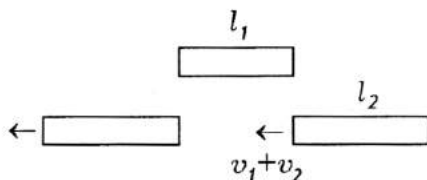
$$m_{л1} = m_l + m_1 = 1.13 \text{ кг.}$$

Задача 2.

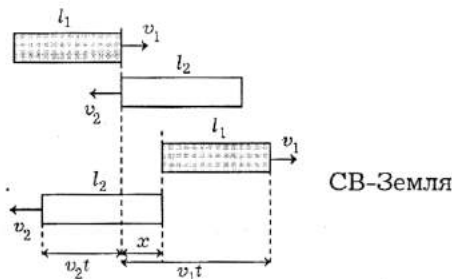
Відносна швидкість поїздів $v = v_1 + v_2$. Довжина товарного поїзда $l_2 = v t = (v_1 + v_2) t$.

Визначимо час t_1 , за який поїзди розминуться.

Відносно пасажирського поїзда:



$$t_1 = \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2}.$$



З рисунка маємо:

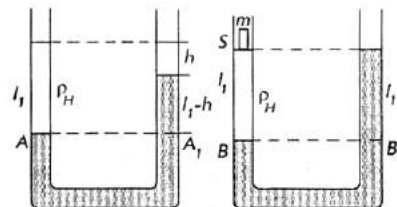
$$x = -v_2 t_1 + l_2 \text{ або } x = v_1 t - l_1.$$

Скористаємось першим рівнянням:

$$\begin{aligned} x &= -v_2 t_1 + (v_1 + v_2) t = -v_2 \frac{l_1 + l_2}{v_1 + v_2} + \\ &+ (v_1 + v_2) t = -v_2 \frac{l_1 + (v_1 + v_2) t}{v_1 + v_2} + \\ &+ (v_1 + v_2) t = -\frac{v_2 l_1}{v_1 + v_2} + v_1 t = 180 \text{ м.} \end{aligned}$$

Точка розходження поїздів знаходиться на відстані 180 м праворуч від точки зустрічі поїздів (якби вийшло $x < 0$, це б означало, що точка розходження поїздів знаходиться ліворуч від точки зустрічі).

Задача 3.



У початковому стані за законом сполучених посудин, тиски на рівні AA_1 дорівнюють:

$$\rho_H g l_1 = \rho_g g (l_1 - h) \Rightarrow l_1 = \frac{\rho_g h}{\rho_g - \rho_H}. \quad (1)$$

У кінцевому стані за законом сполучених посудин тиск на рівні BB_1 дорівнюють:

$$\frac{mg}{S} + \rho_H g l_1 = \rho_g g l_1 \Rightarrow m = S(\rho_g - \rho_H) l_1. \quad (2)$$

(1)→(2):

$$m = S \frac{(\rho_a - \rho_H) \rho_a h}{\rho_a - \rho_H} = \rho_a h S = 0.4 \text{ кг.}$$

Задача 4.

Їдучи по горизонтальній дорозі, двигун виконує роботу по подоланню сили опору, яка дорівнює силі тертя.

$$A_{\text{дв}} = A_{\text{мр}}, A_{\text{дв}} = \eta Q = \eta m_{\text{п}} g,$$

де η – ККД двигуна.

$$A_{\text{мр}} = \mu m g S = A_{\text{дв}},$$

де $\mu = 0.02$.

Автомобіль рухається вгору. Двигун виконує роботу, долаючи сили опору та збільшуючи потенціальну енергію автомобіля

$$\Delta E = m g h_1,$$

$$A_{\text{дв}} = A_{\text{мр}} + m g h_1 = \mu m g S_1 + m g S_1 h_0 = \mu m g S,$$

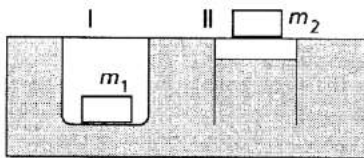
де $h_0 = 10 \text{ м/км} = 0.01$. Тоді

$$S_1 = \frac{\mu S}{\mu + h_0} = \frac{0.02 \cdot 6}{0.02 + 0.01} = 4 \text{ км.}$$

Автомобіль рухається вниз.

$$S_2 = \frac{\mu S}{\mu - h_0} = 12 \text{ км.}$$

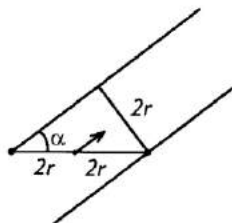
Задача 5.



Як видно з рисунка у випадку I сила Архімеда більша, тобто $m_1 > m_2$.

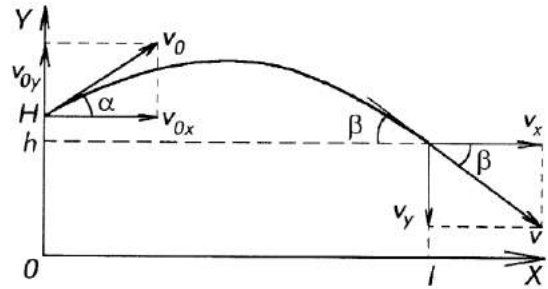
9 клас

Задача 1.



Розгляньмо рух у зворотньому напрямку. Найменший кут кидання відповідає найменшому куту падіння.

З рисунка видно:



$$\sin \alpha = \frac{2r}{4r} = 0.5 \Rightarrow \alpha = 30^\circ.$$

Рух по OX рівномірний:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha = v_x, \quad (1)$$

$$l = v_{0x} t = v_0 t \cos \alpha. \quad (2)$$

Рух по OY рівноприскорений:

$$v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt, \quad (3)$$

$$h = H + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}. \quad (4)$$

З (2) визначимо час польоту t:

$$t = \frac{l}{v_0 \cos \alpha}. \quad (5)$$

Визначимо кінцеву швидкість по OY. (5)→(3):

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g \frac{l}{v_0 \cos \alpha} < 0.$$

Визначимо кут кидання м'яча баскетболістом:

$$\begin{aligned} \text{tg} \beta &= \frac{|v_y|}{v_x} = \frac{gl}{v_0^2 \cos^2 \alpha} - \frac{v_0 \sin \alpha}{v_0 \cos \alpha} = \\ &= \frac{gl}{v_0^2 \cos^2 \alpha} - \text{tg} \alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

(5)→(4):

$$\frac{gl}{v_0^2 \cos^2 \alpha} = \frac{2(\text{tg} \alpha + H - h)}{l}. \quad (7)$$

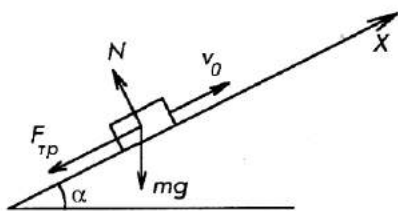
(7)→(6):

$$\begin{aligned} \text{tg} \beta &= 2 \text{tg} \alpha + 2 \frac{H - h}{l} - \text{tg} \alpha = \\ &= \frac{2(H - h)}{l} + \text{tg} \alpha. \end{aligned}$$

Задача 2.

$$\text{tg} \alpha = 0.577 < \mu.$$

Брусок лежить на похилій площині.



Визначимо прискорення бруска при русі догори, для чого запишемо Другий закон Ньютона:

$$ma = -\mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha \Rightarrow a_x = -g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha).$$

Тоді час руху визначимо з рівняння:

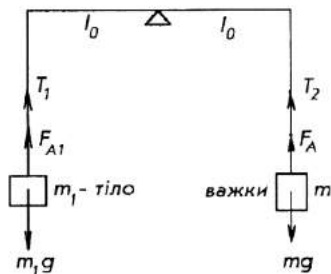
$$v_x = v_0 + a_x t \Rightarrow 0 = v_0 - g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t_1 = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}.$$

Якщо початкова швидкість v_0 напрямлена вниз, тоді:

$$t_2 = \frac{v_0}{g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}.$$

Задача 3.



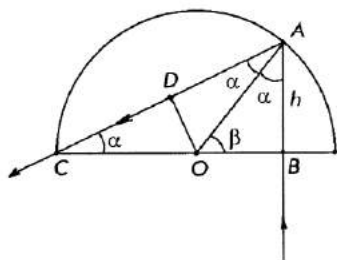
Терези в рівновазі. З рисунка зрозуміло, що $T_1 = T_2$:

$$m_1 g - F_{A1} = mg - F_A ;$$

$$m_1 g - \frac{m_1}{\rho_1} \rho_3 g = mg - \frac{m}{\rho_2} \rho_3 g ;$$

$$m_1 = m \frac{1 - \rho_3/\rho_2}{1 - \rho_3/\rho_1} = \frac{(\rho_2 - \rho_3)\rho_1}{(\rho_1 - \rho_3)\rho_2} m.$$

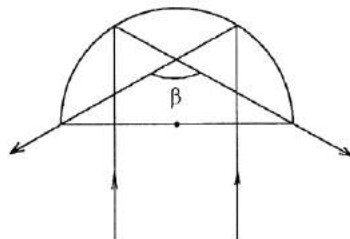
Задача 4.



З $\triangle OAB$ $h = R \cos \alpha$.

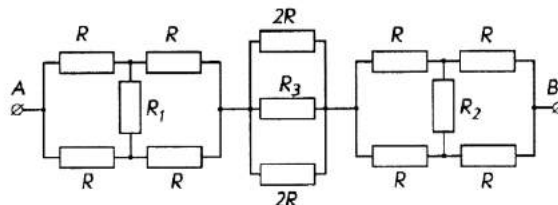
З $\triangle CBA$ $h = 2R \cos \alpha \sin \alpha$.

$2R \cos \alpha \sin \alpha = R \cos \alpha$ звідси випливає, що $\sin \alpha = 1/2$, $\alpha = 30^\circ$.

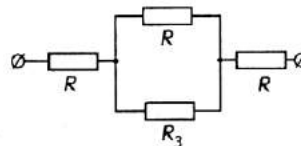


Найбільший кут розходження променів $\beta = 4\alpha = 120^\circ$.

Задача 5.



З міркувань симетрії резистори R_1 і R_2 можна викинути.



Визначимо опір одиниці довжини провідника.

$$r = \frac{R_0}{3(2\pi l + 2l)} = \frac{R_0}{6l(\pi + 1)},$$

l - радіус кола.

Тоді опори

$$R = r \cdot \frac{\pi l}{2} = \frac{\pi}{12(\pi + 1)} R_0 ;$$

$$R_3 = r \cdot 2l = \frac{R_0}{3(\pi + 1)}.$$

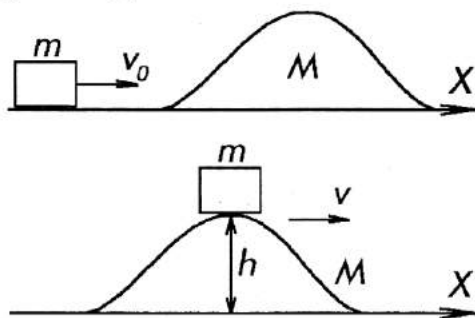
Повний опір схеми:

$$R_x = 2R + \frac{RR_3}{R + R_3} = R_0 \frac{2\pi(\pi + 6)}{12(\pi + 1)(\pi + 4)} = 0.67 \text{ Ом.}$$

10 клас

Задача 1.

Мінімальність швидкості визначає кінцевий стан системи: тіло m знаходиться на вершині тіла M і нерухоме відносно нього.



Тертя відсутнє. Запишемо закон збереження енергії (ЗЗЕ):

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{(m+M)v^2}{2} \quad (1)$$

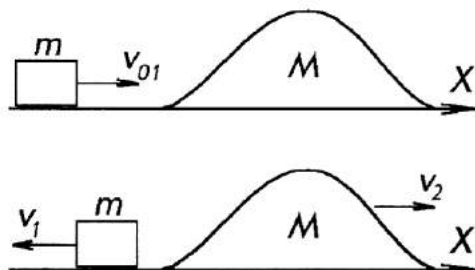
Зовнішні сили вздовж вісі X відсутні. Запишемо закон збереження імпульсу (ЗЗІ) по вісі X :

$$mv_0 = (m+M)v \Rightarrow v = \frac{mv_0}{m+M} \quad (2)$$

(2)→(1):

$$mv_0^2 = 2mgh + \frac{m^2v_0^2}{(m+M)} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2(m+M)gh}{h}} \approx 5.4 \text{ м/с}$$

При $v_{01} = 5 \text{ м/с} < v_0$ тіло не переїде перешкоду.



Із ЗЗЕ і ЗЗІ:

$$\frac{mv_{01}^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{Mv_2^2}{2} \Rightarrow$$

$$mv_{01} = -mv_1 + Mv_2$$

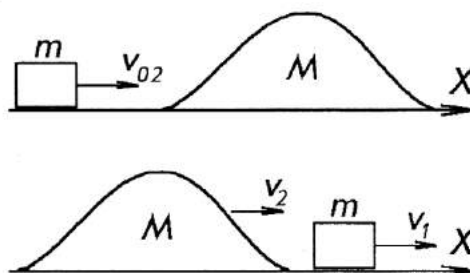
$$\Rightarrow v_{01} - v_1 = v_2$$

(5) підставимо в (4):

$$mv_{01} = -mv_1 + M(v_{01} - v_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_1 = \frac{M-m}{M+m}v_{01} = 3.3 \text{ м/с}$$

При $v_{02} = 6 \text{ м/с} > v_0$ тіло переїде через перешкоду.



Із ЗЗЕ:

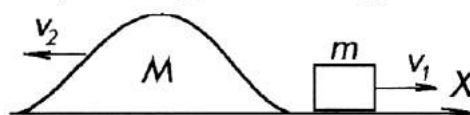
$$\frac{mv_{02}^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{Mv_2^2}{2}; \quad (6)$$

$$mv_{02} = mv_1 + Mv_2 \Rightarrow \quad (7)$$

$$\Rightarrow m(v_{02}^2 - v_1^2) = Mv_2^2 \Rightarrow v_{02} + v_1 = v_2, \\ m(v_{02} - v_1) = Mv_2$$

а це неможливо.

Нехай перешкода рухається ліворуч.

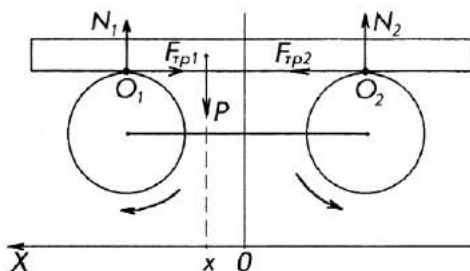


ЗЗІ:

$$mv_{02} = mv_1 - Mv_2 \quad (8)$$

кінцевий імпульс тіла m більший за початковий, це суперечить ЗЗЕ. Такий випадок точно неможливий. Висновок: тіло M — стоїть, тіло m — рухається після подолання перешкоди з швидкістю $v_1 = v_{02} = 6 \text{ м/с}$.

Задача 2.



(3)

(4)

(5)

Визначимо N_1 і N_2 . З умови рівності суми моментів сил нулевій (тіло рухається поступально):
вісь O_1 : $P(l-x) = N_2 2l$

$$\Rightarrow N_2 = P \frac{l-x}{2l} \Rightarrow F_{\text{тр}2} = \mu P \frac{l-x}{2l},$$

вісь O_2 : $P(l+x) = N_1 \cdot 2l$

$$\Rightarrow N_1 = P \frac{l+x}{2l} \Rightarrow F_{\text{тр}1} = \mu P \frac{l+x}{2l}.$$

Запишемо Другий закон Ньютона для центра мас тіла:

$$ma = -F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} = -\mu P \frac{l+x}{2l} + \mu P \frac{l-x}{2l} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a = -\mu \frac{P}{m} \frac{2x}{2l} \Rightarrow a = -\frac{\mu g}{l} x.$$

Така залежність прискорення a від зміщення x вказує на коливний рух дошки.

Висновок. Дошка буде здійснювати гармонічні коливання з частотою

$$\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{l}}.$$

Задача 3.

а) Бульбашка у рівновазі, якщо

$$F_A = m_{\text{б}}g + m_{\text{пб}}g.$$

$$F_A = \rho_n g V = \frac{P_0 \mu}{RT_0} g \frac{4}{3} \pi r^3 - \text{сила Архімеда.}$$

$$m_{\text{б}}g = \rho V_n g = \rho \cdot 4 \pi r^2 \delta g - \text{сила тяжіння плівки.}$$

$$m_{\text{пб}}g = \rho_{\text{пб}} V g = \frac{P_0 \mu}{RT} g \frac{4}{3} \pi r^3 - \text{сила тяжіння}$$

повітря у бульбашці.

$$\frac{P_0 \mu}{RT_0} g \frac{4}{3} \pi r^3 = \rho \cdot 4 \pi r^2 \delta g +$$

$$+ \frac{P_0 \mu}{RT} g \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = 1 / \left(\frac{1}{T_0} - \frac{3\rho\delta R}{P_0 \mu r} \right) = \frac{T_0 P_0 \mu r}{P_0 \mu r - 3\rho\delta R T_0}.$$

б) Якщо врахувати сили поверхневого натягу, тиск повітря у бульбашці буде більшим за атмосферний на подвоєний Лапласівський тиск плівки (плівка має дві поверхні):

$$P = P_0 + \frac{4\sigma}{r}.$$

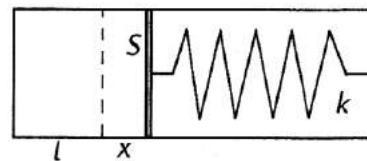
Тоді умова рівноваги має вигляд:

$$\frac{P_0 \mu}{RT_0} g \frac{4}{3} \pi r^3 = \rho \cdot 4 \pi r^2 \delta g +$$

$$+ \frac{(P_0 + 4\sigma/r) \mu}{RT} g \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \mu r (P_0 + 4\sigma/2) / \left(\frac{P_0 \mu r}{T_0} - 3R\rho\delta \right).$$

Задача 4.



Нехай системі подали Q теплоти, при цьому газ нагрівся на ΔT і виконав роботу по переміщенню поршня на x . Запишемо Перший закон термодинаміки ($\nu = 1$):

$$Q = A + \Delta U = -\Delta \Pi + \Delta U = \frac{k(l+x)^2}{2} - \frac{kl^2}{2} + \frac{3}{2} R \Delta T. \quad (1)$$

Умова рівноваги поршня:

$$P_1 S = kl, \quad P_2 S = k(l+x), \quad P_1 = \frac{RT_1}{Sl}.$$

$$P_2 = \frac{RT_2}{S(l+x)} \Rightarrow \frac{RT_1}{l} = kl,$$

$$\frac{RT_2}{l+x} = k(l+x) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow kl^2 = RT_1, \quad k(l+x)^2 = TR_2. \quad (2)$$

Підставимо в (1):

$$Q = \frac{RT_2}{2} - \frac{RT_1}{2} + \frac{3}{2} R \Delta T =$$

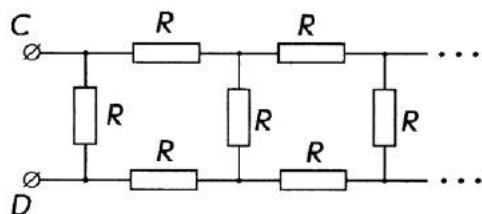
$$= \frac{R}{2} \Delta T + \frac{3}{2} R \Delta T = 2R \Delta T.$$

Теплоємність системи

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = 2R.$$

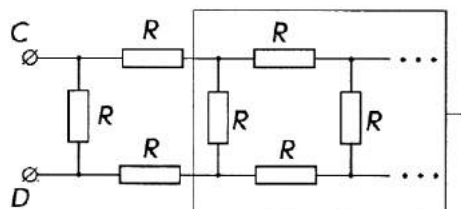
Задача 5.

Якщо до точок C і D замість опору r підключити нескінченний ланцюг

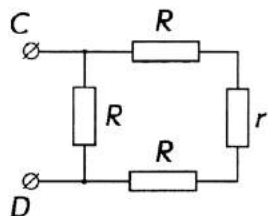


тоді опір між точками A і B не буде залежати від кількості ланок у ланцюзі. Опір r повинен дорівнювати опорі нескінченного ланцюга ($r = R_{CD}$), знайдемо його.

Якщо від нескінченного ланцюга відокремити одну ланку, то опір ланцюга не зміниться:



- нескінченний ланцюг має опір r .
Еквівалентне коло:



$$R_{CD} = r = \frac{R(2R + r)}{3R + r} \Rightarrow$$

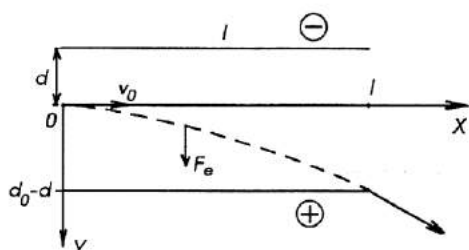
$$r^2 + 2Rr - 2R^2 = 0,$$

$$r = -R + \sqrt{R^2 + 2R^2} = R(\sqrt{3} - 1).$$

11 клас

Задача 1.

$d_0 = 1$ см; $d = 4$ мм.



Рух по вісі OX рівномірний:

$$l = v_0 t \Rightarrow t = \frac{l}{v_0} - \text{час руху електрона в полі}$$

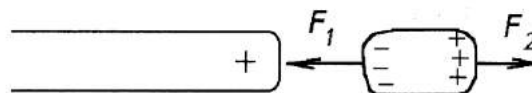
конденсатора. Мінімальна швидкість електрона, що пролетить крізь конденсатор, визначає зміщення електрона по вісі OY. Вона рівна $d_0 - d$. Рух по вісі OY рівноприскорений:

$$d_0 - d = \frac{at^2}{2} = \frac{eEt^2}{2m} = \frac{eUt^2}{2md_0} = \frac{eUl^2}{2md_0v_0^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{eUl^2}{2md_0(d_0 - d)}} = 1200 \text{ км/с.}$$

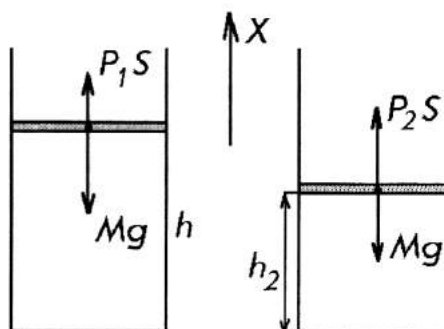
При $v > v_0$ електрон пролетить через конденсатор.

Задача 2.



Якщо заряджене тіло піднести до клаптика паперу, то в папері під дією електричного поля відбувається поляризація, що приведе до виникнення поверхневих зарядів на клаптику. Електричне поле буде взаємодіяти із наведеними зарядами. Сила F_1 , що діє на ближній заряд (-), більша за силу F_2 , що діє на дальній заряд (+). Результуюча сила направлена до гребінця, клаптик рухається до зарядженого тіла — притягується. Від знака заряду тіла результуюча сила не залежить.

Задача 3.



Початковий стан — поршень у рівновазі:

$$P_1 S = Mg. \quad (1)$$

Запишемо для поршня Другий закон Ньютона.

Вісь OX: $Ma = P_2 S - Mg \Rightarrow P_2 S = M(a + g). \quad (2)$

Для ізотермічного процесу:

$$P_1 h S = P_2 h_2 S. \quad (3)$$

Підставимо (1) і (2) в (3):

$$\begin{aligned} Mgh &= M(a+g)h_2 \Rightarrow \\ \Rightarrow h_2 &= \frac{g}{a+g} h \end{aligned}$$

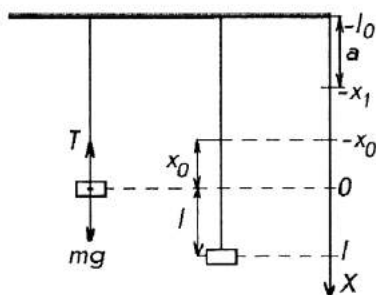
Задача 4.

$$l_0 = 0.5 \text{ м}; l = 0.2 \text{ м}$$

Умова рівноваги:

$$T = mg = kx_0 \Rightarrow x_0 = \frac{mg}{k} = 0.10 \text{ м.}$$

Якщо тягарець рухається від $(-x_0)$ до (l) , то він рухається гармонічно, від $(-x_0)$ до $(-x_1)$ і далі до $(-x_0)$ тягарець вільно падає.



Період коливань T складається з часу гармонічного руху t_1 і часу вільного падіння t_2 : $T = t_1 + t_2$. Рівняння гармонічних коливань маятника $x = l \cos \omega t$, тоді

$$t_1 = \frac{2}{\omega} \arccos \frac{-x_0}{l}$$

Визначимо модуль швидкості маятника v у точці $(-x_0)$. ЗЗЕ:

$$h = H + v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \Rightarrow$$

$$v^2 = \frac{2}{m} \left(\frac{k(x_0 + l)^2}{2} - mg(l + x_0) \right).$$

Тоді час вільного падіння $t_2 = 2v/g$.

$$\begin{aligned} T &= 2\sqrt{\frac{m}{k}} \arccos \left(-\frac{mg}{kl} \right) + \\ &+ \frac{2}{g} \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{k(x_0 + l)^2}{2} - mg(l + x_0) \right)}. \end{aligned}$$

Визначимо висоту вільного польоту:

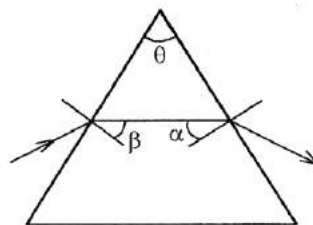
$$x_1 - x_0 = \frac{v^2}{2g} \Rightarrow$$

$$x_1 = x_0 + \frac{1}{gm} \left(\frac{k(x_0 + l)^2}{2} - mg(l + x_0) \right).$$

Тоді мінімальна відстань від точки підвісу до тягарця

$$a = l_0 - x_1 = l_0 - \frac{k(x_0 + l)^2}{2mg} + l.$$

Задача 5.

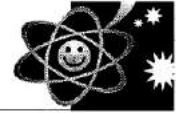


Найбільшому значенню $\theta = \alpha + \beta$ відповідає випадок найбільшого значення кутів α і β . Але найбільші значення кутів α і β - це граничні кути повного внутрішнього відбивання

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{1}{n} = 30^\circ.$$

Тоді $\theta = 2\alpha_0 = 60^\circ$.

Підготував
Володимир Алексейчук



Шпальти багатьох газет, журналів рясніють оголошеннями та зверненнями до громадян виявити ініціативу, поліпшити свій добробут, заробити без великих зусиль значні кошти. Для цього широко використовуються набання математики — як будувати піраміди...

Фізики теж вміють жартувати...

Ось декілька повчальних історій про те, як можна заробляти гроші своїм розумом (головою).

Відомий авіаконструктор О.Архангельський, вступивши до Московського університету, йшов до кравця замовляти студентську форму. Проходячи біля одного з будинків, йому на голову впав шматок штукатурки. Юнак втратив свідомість, навколо нього зібрався натовп. Прийшов поліцейський, оглянув місце події і склав акт, у якому засвідчив причини травми. Коли Архангельський прийшов до свідомості, поліцейський вручив йому цей акт і повідомив, що він має право вимагати від домовласника компенсацію за заподіяну шкоду (гуля на голові). Скривджений звернувся до домовласника і почав вимагати компенсації 100 рублів. Після торгувань юнаку заплатили 75 рублів. На той час це були великі гроші. Повертаючись додому юнак не втримався і купив собі найдорожчий золотий годинник фірми “Павелъ Буре”.

Згодом Архангельський любив жартувати, що перший свій матеріальний здобуток він заробив “власною головою”.

Коли Петрові Капиці було 19 років він під час студентських канікул поїхав у подорож на Північ до берегів Білого моря. Його увагу привернув риб'ячий жир, який помори отримували із печінки тріски. У результаті цієї поїздки з'явилася перша друкована праця П. Капиці “Риб'ячий жир”, яка була опублікована 1913 року у журналі “Аргус”.

Так вперше виявились наукова спостережливість і прагматизм майбутнього всесвітньовідомого фізика, Нобелівського лауреата.



Коли Петро Капиця вже мав славу вправного експериментатора, одна англійська фірма попросила його відремонтувати новий електродвигун, який з невідомих причин не працював. Капиця уважно оглянув двигун, декілька разів вмикав і вимикав його, потім попросив принести молоток. Подумав і вдарив по ньому молотком. І — о диво! — електродвигун запрацював. За цю консультацію фірма ще раніше заплатила ученому 1000 фунтів. Представник фірми, побачивши, що ремонт тривав декілька хвилин, попросив Капицю письмово відзвітувати за отримані кошти. Учений написав у звіті, що удар молотком по двигуну він оцінює 1 фунт, а решту — 999 фунтів, заплачені йому за те, що він безпомилково знав, у яке місце потрібно вдарити молотком.



Природна стихія : ЗЕМЛЕТРУС

Страшний природний катаклізм — землетрус, неначе грім час від часу приголомшує людство своєю руйнівною силою. Чим страшне це лихо?

Кількість жертв під час ураганів та повеней є часто більша, ніж під час землетрусів. Наприклад, повінь на узбережжі Бенгальської затоки 1970 року забрала майже 1 млн. осіб, а під час повені у Китаї 1959 року кількість жертв досягло 2 млн. чоловік! Жодний з відомих людству землетрусів не забрав більшої кількості жертв, ніж інші стихійні лиха, але звістка про нього найбільше хвилює людей. Можливо, це пов'язано з його раптовістю та короткочасністю.

Що ж відомо про природу землетрусів? Як їх спрогнозувати? Геофізика вже досить давно займається вивченням цього явища природи. Земна кора складається з окремих тектонічних плит, які знаходяться у постійному ледь помітному дрейфі. Якщо вони зчеплюються, то рух припиняється, а зона, де відбуваються ці процеси, деформується. Внаслідок цього у деяких місцях земна кора стискається, в інших розтягується. У пластах породи концентрується механічна напруга. Коли вона досягає критичної межі (межі міцності) самовільно, або під дією зовнішнього фактора, зчеплені виступи тектонічних плит руйнуються і відбувається сейсмічний поштовх. Крім того, приводом до землетрусу може бути зміна тиску на земну поверхню, зумовлена метеорологічними факторами, заповнення водосховищ тощо, а також акустична хвиля, яка поширюється в земній корі від потужних підземних вибухів і це, на думку деяких учених, може допомогти розрядити пружну енергію земної кори серією землетрусів незначної сили.

Планети сонячної системи теж можуть спонукати виникнення землетрусу. Такий вплив залежить від маси діючих космічних об'єктів, їхньої віддалі до Землі та взаємного розміщення у просторі. Відомо, що найбільший вплив має Місяць. Однак внеском інших планет не варто нехтувати, адже доведено їхню роль у зміні ротаційного руху Землі. Що означає зміну кутової швидкості її обертання, кута прецесії і нутації. Невпинний рух планет по традиційних еліптичних орбітах час від часу породжує своєрідні конфігурації розміщення планет (парад планет, хрест тощо), що збуджує як ротаційний рух Землі, так і її земну кору. Чи не Сонце і Місяць та їхнє взаємне розміщення, що зумовило у серпні 1999 року сонячне затемнення, викликали потужний землетрус у Туреччині?

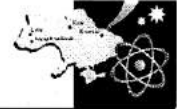
Землетрус як фізичне явище і землетрус як стихійне лихо (кількість жертв і характер руйнування) є різні речі. Енергію, яка виділяється в центрі землетрусу (магнітуда), вимірюють за допомогою логарифмічної шкали Ріхтера від 1 до 9 балів. Один бал за шкалою Ріхтера це — $5 \cdot 10^6$ Дж, а дев'ять — $1,6 \cdot 10^{18}$ Дж, що відповідає енергії (300 мегатонної атомної бомби), якої б вистачило для забезпечення електроенергією цілого міста на тисячі років.

Землетрус, навіть з великою магнітудою, не обов'язково породжує адекватно сильні руйнування, оскільки ступінь руйнування залежить, крім того, від глибини залягання осередку землетрусу, геологічної структури земних порід, рельєфу місцевості, поземної складової поштовхів. І тут фізика може дати корисні поради: відомо, що в земній корі поздовжня сейсмічна хвиля поширюється

із швидкістю 8 км/с, а поперечна — лише близько 4,5 км/с. Крім цих видів хвиль, землетрус спричиняє виникнення поверхневих хвиль. Вони поширюються не через товщу Землі, а по її поверхні, аналогічно як на поверхні води поширюється хвиля від кинутого камінця. Ці хвилі є найруйнівнішими, хоча швидкість їхнього поширення менша, ніж поздовжніх. Отже, землетрус починається з приходу поздовжньої хвилі, після яких через короткий проміжок часу приходять поверхневі хвилі, які і чинять максимальні руйнування. Про це варто знати всім! Адже і секунди може бути достатньо, щоб врятувати життя!

Перед сейсмічним поштовхом іноді спостерігають явища не завжди очевидні: спалахи на схилах гір і в небі, незвичайна поведінка деяких видів тварин. Наприклад, коти та собаки виявляють занепокоєння, вилізають на поверхню землі змії, ящірки, миші.

Відомо, що механічне руйнування деяких матеріалів супроводжується електромагнітними імпульсами. Механічні напруження, що виникають у зоні зчеплення перед землетрусом спричинюють появу сильних електричних полів. Виникають розряди, спалахують "підземні блискавки", які породжують електромагнітні хвилі. Під час звичайної грози часто пахне озоном. Його молекули утворились у плазмі електричного розряду. Отже, якщо бувають "підземні грози", то повинен виникнути озон у земних надрах, оскільки кисень є складником багатьох мінералів. Озон є сильним окислювачем і діє на живі організми. Можливо, саме озон, що виділяється із Землі та електричні розряди спричинюють неспокій тварин перед землетрусом?



Спогади про Романа Гайду

Через віддаленість місць, до яких ми належимо, і цілей, які ми переслідуюмо, шляхи людей уявляються кривими з нескінченною кількістю параметрів. Дуже мало життєвих траєкторій перетинаються, а більшість з них — короткочасно, ледь достатньої для вислухання однієї історії життя. Непередбачені зустрічі — як кольорові скельця у чорнобілій мозаїці життєвого стереотипу. До них належало і моє випадкове знайомство з професором Гайдою у Львові напочатку листопада 1994 року.

Той, долею якого стала наукова робота, повинен, зазвичай, досягти відповідного віку, щоб не рахувати втраченим час на спогади про те, що і перед ним жили надзвичайно мудрі люди. Зі здивуванням ми виявляємо, яке зрозуміле свідчення залишили вони про свою працю і скільки Америк відкривається знову тільки тому, що ми апіорі нехтуємо усім, що не несе пресі “гарячої сучасності”. Коли взагалі учений починає виявляти зацікавленість до праць своїх попередників, це трапляється найчастіше тоді, коли надходить час підсумовувати власні успіхи або поразки.

Саме у такий час випадково я зустрів професора Гайду і, завдяки йому заповнив у своїй пам'яті прогалину про ім'я Івана Пулюя. Три роки я був посередником між двома чудовими Українцями. У Державному архіві Чеської республіки я намагався збагнути прохання сторічної давності, які видатний фізик і електротехнік адресував своєму начальству; він не просив для себе, але для прогресу у країні, яка є моєю батьківщиною. Ентузіазм, з яким професор Гайда збирав дані для книги про Івана Пулюя, був подиву гідний. Після

декількох місяців постійних відвідувань, у архіві Чеського технічного університету і Празької Народної бібліотеки мене почали сприймати за історика, вузькоспеціалізованого з долі українських емігрантів, які проживали у Чехії з кінця XIX сторіччя до Другої світової війни.

У вересні 1995 року професор Гайда провів декілька днів у Празі на запрошення нашого інституту. Я супроводжував його місцями, якими на зламі XIX і XX сторіччя ходив його великий співвітчизник. Ми разом були біля історичного будинку у Старому празькому місті, де у лютому 1896 року І.Пулюй читав лекції про можливості X-променів, які недавно перед цим відкрив його ровесник К.Рентген; у депозитарії Народного технічного музею Р.Гайда бачив у дії один із перших екземплярів відомої лампи Пулюя; багато часу він переглядав документи про діяльність Івана Пулюя у Празькій німецькій політехніці; ми також відвідали будинок, в якому 1918 року Пулюй помер, а потім з квітами пішли на цвинтар Мальвазінки, де похований учений.

Тоді Р.Гайда зізнався мені, що дуже хоче виконати бажання Пулюя: щоб місцем його поховання була рідна земля. Я можу підтвердити, що професор Гайда не забув про це. Саме для цього він і приїхав на три дні до Праги ще напочатку жовтня 1997 року. І тоді ми двічі зустрічались. Останній раз біля пам'ятника Святому Вацлаву перед Народним музеєм. Це був ранній вечір квітучого бабиного літа. Ми посиділи на сонечку і пообіцяли собі знову зустрітись. Я вірю, що одного разу ця обіцянка здійсниться.

Прага, жовтень 1998

Іво Кравс, професор Чеського технічного університету, м. Прага



Львівський університет і його міжнародні контакти



Кирилич В.М.

Проректор з питань міжнародного співробітництва Львівського державного університету імені Івана Франка

Львівський державний університет імені Івана Франка протягом століть має давні традиції підтримувати плідні стосунки з багатьма університетами світу. Сьогодні університет підтримує партнерські зв'язки на рівні угод з 44 університетами та установами світу із 22 країн. Крім того, факультети, кафедри, науково-дослідні інститути та лабораторії самостійно співпрацюють з відповідними зарубіжними інституціями.

Із здобуттям Україною незалежності світова наукова громадськість почала активніше цікавитися науковими здобутками українських учених. А з впровадженням української мови як державної, виникла необхідність вивчення іноземними спеціалістами мови, історії та культури нашої держави. До старовинного вищого навчального закладу України, де завжди велику увагу приділяли вивченню української мови та історії, де спеціалісти отримували глибокі знання, з кожним роком все більше привертають свою увагу наукові установи інших країн.

Українській державі сьогодні необхідна велика кількість фахівців з багатьох галузей науки, освіти, культури, промисловості, тощо, для плідної співпраці із країнами всього світу; фахівців, які б добре володіли не тільки українською мовою,

але й мовами світу. Сьогодні в університеті навчають 20-ти іноземним мовам, серед них такі як китайська, японська, турецька, арабська, італійська, шведська, всі слов'янські. Львівський університет почав розширювати географію наукових і культурних зв'язків. Почалася співпраця з університетами США, Польщі, Німеччини, Австрії, Бельгії, Іспанії, Італії, Туреччини, Франції, Данії. Здійнюється активний обмін викладачами, науковцями і студентами. Сьогодні в університеті навчається і працює понад 70 іноземців.

Особливо тісні стосунки Львівського університету з вищими науковими установами нашого найближчого сусіда — Польщею. Налагоджена співпраця з Варшавським та Вроцлавським університетами. Провідні польські університети мають добре матеріально-технічне устаткування, і тому значна кількість українських науковців виїжджає туди для проведення експериментальних робіт, а деякі викладачі працюють там за контрактом. Польських учених в свою чергу цікавлять наші дослідження у галузі точних наук, географії, філології, робота в архівах та бібліотеках. Є чимало таких, хто бажає захищати дисертації у Львівському університеті. Студенти приїжджають на філологічні практики, проводиться велика кількість спільних наукових конференцій.

Крім 12 діючих угод з польськими університетами, ми маємо пропозиції про підписання наступних від університетів Торуня, Щеціна. Найближчим часом будуть підписані угоди з Католицьким університетом у Любліні. Католицький університет цікавий для нас тим, що там добре поставлено вивчення права, української філології, історії. Цей університет відчуває потребу в наукових кадрах на недавно створеному природничому фа-



культеті. У Католицькому університеті навчається майже 400 осіб з України, які хочуть одночасно отримати диплом нашого університету через заочне навчання. Актуальною є активізація співпраці з Ягеллонським та Любінським ім. Марії Склодовської-Кюрі університетами.

Вища школа адміністрації й управління в Перемишлі є найближчим до нас польським вищим навчальним закладом. Хоча створено цей заклад недавно, вони мають цікаві пропозиції для співпраці з юридичним та економічним факультетами у рамках програми Європейського союзу (ЄС) з питань пограниччя. Це суттєво поліпшує польсько-українські відносини на державному, академічному та побутовому рівнях.

Важливою є співпраця з Канзаським університетом (США). Це — чи не єдиний після Гарвардського університету заклад, який має магістерську програму з україністики. Вже шостий рік поспіль влітку на 6 тижнів до нас приїжджає по 15 американських студентів для удосконалення знань з україністики. Біля 50 випускників цієї літньої школи працюють в американських представництвах в Україні.

Вперше у практиці навчальних закладів України ми підписали наприкінці 1992 року угоду про співпрацю з дипломатичною установою — Посольством Великої Британії. Ця співпраця вилилась у відкриття Британського центру при університеті. Здається, що сьогодні без цієї інституції не обійтись. Центр має величезну популярність не тільки серед студентів та співробітників факультетів іноземних мов і

міжнародних відносин, але й серед вчителів шкіл нашого регіону, студентів Львівських навчальних закладів. Центр надає стипендії уряду Британії для студентів та співробітників університету. Пізніше були відкриті: Французький Культурний центр, Австрійсько-українське бюро кооперації в освіті, науці та куль-

турі, Італійський центр та Центр країн Північної Європи. Такі центри мають сучасне аудіо-відео-устаткування, бібліотеки, свіжу періодику і студенти, викладачі різних факультетів активно користуються ними.

За ініціативою громадянина США Василя Петраха через університет ім. Дж. Вашингтона (США) одержано проект з фонду Петрахів. Унікальність цього проекту полягає в тому, що він представлений у вигляді цінних паперів США і практично довічний. Завдяки цьому гранту університет має змогу отримувати всю необхідну американську наукову періодику. За рахунок фонду здійснюється стажування науковців, викладачів та навчання студентів у США.

Університет бере участь у міжнародних освітніх програмах, фондах. Це в першу чергу: ДААД (Німеччина), ФУЛБРАЙТ (США), КОПЕРНІКУС (ЄС), АКСЕЛС (США), АЙРЕКС (США), ТЕМПУС (ЄС), Міжнародна програма Сороса (США), ІНТАС (ЄС), КОНСОРЦІУМ АМЕРИКАНСЬКИХ КОЛЕДЖІВ, ФОНД ФОРДА, ФОНД розвитку демократії та Верховенства закону.

В університеті відновлено традицію присвоювати почесні звання *doctor honoris causa* видатним ученим і політичним діячам різних країн. Досвід підтверджує, що ця традиція сприяє становленню і розвитку міжнародних зв'язків, адже добра співпраця відбувається тоді, коли вона ведеться на рівні особистих контактів та наукових шкіл.



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"

Манастирський
Антон Іванович
(1878-1969)

Запорожець. 1932

Полотно, наклеєне на
фанеру, олія. 81x54,5
ЛМУМ



Якщо хочете знати про:

- досягнення науки на зламі тисячоліть;
- захопливий світ фізики;
- хто буде першим Нобелівським лауреатом 3-го тисячоліття?

Не забудьте передплатити журнал "Світ фізики" на наступний рік.

Передплатний індекс 22577.