СВІТ ФІЗИКИ

№3
2015

науково-популярний журнал

2015 – Міжнародний рік світла і світлових технологій

Аби про щось дізнатися,
треба уже щось знати
Станіслав Лем

НОБЕЛІВСЬКА ПРЕМІЯ З ФІЗИКИ
2015 рік

Нобелівською премією з фізики 2015 року нагородили канадського фізика Артура Брюса Макдональда (Arthur Bruce McDonald) і японського фізика Такааку Кадзіта (Takaaki Kajita) "за відкриття нейтронних осциляцій, які підтверджують, що нейтрино мають масу".

Артур Брюс Макдональд народився 29 серпня 1943 року в Сіднеї (провінція Нова Шотландія, Канада). Ступінь бакалавра і магістра в галузі фізики здобув в Університеті Далгаузі в Галіфаксі. Згодом переїхав до США, де 1969 року здобув ступінь доктора наук у Каліфорнійському технологічному інституті. Далі повернувся до Канади, працював у лабораторії з атомної енергетики до 1982 року. Сім років фізик працював у Прінстонському університеті, згодом перейшов працювати до Королівського університету в Кінгстоні.

А. Макдональд 1989 року обійняв посаду директора нейтринної обсерваторії Садбері (SNO). Він – почесний професор фізики Королівського університету, член Королівського товариства Канади (1997), член Лондонського королівського товариства (2009), нагороджений багатьма престижними преміями.

Такааkі Кадзіта народився 9 березня 1959 року в Хігасі-Мацуяма (Японія). Ступінь бакалавра в галузі фізики здобув 1981 року в університеті Сайтама. Завершивши навчання, він 1986 року отримав ступінь магістра і доктора наук у Токійському університеті. Два роки потому Кадзіта почав працювати в Інституті космічних досліджень у Токійському університеті. Нині Т. Кадзіта – професор фізики, директор цього Інституту. Учений є громадянином Японії, співпрацює з дослідницькою лабораторією Супер-Каміоканде.

Науковці є керівниками двох експериментальних груп, що вивчають властивості нейтрино – найлегші, загадкові й найневловиміші серед усіх відомих елементарних частинок. Їхні дослідження переконливо довели, що нейтрино здатні осцилювати – мимоволі перетворюватися під час польоту один в одного.

СВІТ ФІЗИКИ
науково-популярний журнал
3(71) '2015

Журнал **"СВІТ ФІЗИКИ"**,
заснований 1996 року,
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180
від 06.11.1997 р.
Виходить 4 рази на рік

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

Головний редактор
Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:
Олександр Гальчинський
Галина Шопа

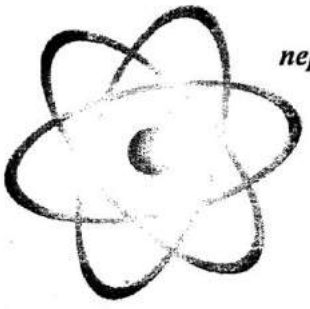
Редакційна колегія:

Ігор Анісімов
Михайло Бродин
Ярослав Довгий
Іван Климишин
Юрій Ключковський
Богдан Лукіянець
Олег Орлянський
Максим Стріха
Юрій Ранюк
Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**
Літературний редактор **Мирослава Прихода**
Комп'ютерне макетування та друк
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:
Редакція журналу "Світ фізики"
вул. Саксаганського, 1,
м. Львів 79005, Україна
тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73
у Києві 380 (044) 416 60 68
phworld@franko.lviv.ua
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

1920 – Артур Едінґтон висунув гіпотезу, що на Сонці відбувається реакція ядерного синтезу.
1930 – Вольфґанґ Паулі припустив, що під час бета-розпаду атомних ядер поряд з електроном випромінюється нейтральна частинка з пів цілим спіном та масою спокою, близькою до нуля.
1938 – Ганс Бете проаналізував основні ядерні процеси, що можуть відбуватися на Сонці, та за допомогою яких можна визначити точну температуру в середині Сонця.
1956 – Фредерік Райнес і Клуйде Кован зафіксували нейтрино, що вилітали з ядерного реактора.
1964 – Джон Бакал зумів визначити кількість нейтрино, що долітають від Сонця.
1967 – Раймонд Девіс уперше дослідив нейтрино Сонця у детекторі в копальні Південної Дакоти.
1969 – Володимир Ґрібов і Бруно Понтекорво зробили висновок, що неможливо пояснити коливання цих частинок.
1978 і **1985** – Станіслав Міхеєв, Олексій Смирнов і Лінкольн Вольфенштайн висунули припущення, що матерія може підсилювати осциляцію нейтрино.
1998 – Експерименти у Супер-Каміоканде підтвердили, що нейтрино під час космічного випромінювання взаємодіють з ядрами у верхніх шарах атмосфери. Це вперше підтвердило, що нейтрино мусить мати масу.
2002 – Експерименти SNO підтвердили, що сонячні нейтрино осцилює в інших запахах.
2002 – Експеримент KamLAND дав змогу відкрити осциляцію антинейтрино, які випромінюються з ядерних реакторів.



Не забудьте передплатити журнал "Світ фізики"

Передплатний індекс 22577

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

© СП "Євросвіт"

ЗМІСТ

1. Нові та маловідомі явища з фізики

Сусь Б. А., Сусь Б. Б. Фізика – наука для майбутнього 3

2. Олімпіади, турніри…

Орлянський Олег. Задача, якій не поталанило 10

3. Нобелівські лавреати

Шопа Галина. Нейтрино має масу. Нобелівські лавреати з фізики за 2015 р. 16

4. Олімпіади, турніри…

Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (10–11 класи, Запоріжжя, 2015) 24

5. Інформація

Шопа Роман. Великі дані та eScience – новітня наука чи антиутопія? 39

Паславський Роман. Авторка-винахідниця 45

Перша леді Інтернету 47

ФІЗИКА – НАУКА ДЛЯ МАЙБУТНЬОГО

Б. А. Сусь,
доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики Військового інституту телекомунікацій та інформатизації,

Б. Б. Сусь,
кандидат фізико-математичних наук, завідувач сектором Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Ми перебуваємо у нескінченному Всесвіті, який перебуває у безперервному русі. Це нежива природа, яка є предметом вивчення для фізики. У неживій природі виникло живе та йде безперервний процес його розвитку і проникнення в сфери неживої матерії. Людина є найвищою формою живого і як окремий індивід також невпинно прагне до розвитку.

Але є ще вища форма живого – це спільнота людей. Спільноти теж розвиваються. Існує колективна свідомість, яка спонукає до розвитку в усі історичні часи. Значного розвитку людство набуло за останнє сторіччя. Нині фактично кожна людина має мобільний телефон, радіо, телевізор, звичним і потрібним став комп'ютер. Побували на Місяці, досягнули інших планет. Сто років тому про таке не було підстав навіть думати – це була фантастика.

А тепер погляньмо на дуже далеку перспективу.

Сонце і Земля існують десь 4–5 мільярдів років. Це наш світ. Тут зародилося життя. Та він не вічний. Ще за 4–5 мільярдів років на Сонці завершаться термоядерні процеси, воно перетвориться на так званого "червоного гіганта", дуже розшириться і Земля стане непридатною для життя. Звичайно, для окремої людини це щось дуже й дуже далеке від потреб сьогодення, бо їй потрібно просто жити і вона переймається життєвими проблемами. Але існує колективний розум, можливо у вигляді інстинкту, який спрямовує розвиток людства.

Якщо Земля – наша, своя, близька, то довкола неосяжний космос, який є чужим і жорстоким. І в тому далекому майбутньому людям ніхто не допоможе, тому вони самі собі мають дати раду. Адже треба буде добратися до планет інших світів, щоб продовжити життя. А це завдання небаченої складності. Річ у тому, що навіть найближча зоря нашої галактики перебуває від нас неймовірно далеко. Якби летіти до неї зі швидкістю кулі, то на це потрібно мільйон років. Важко навіть уявити, якого розвитку людство досягне в майбутньому, але воно має створити системи, придатні для життя не однієї людини, а для багатьох-багатьох поколінь поза межами Землі. І треба опанувати інші швидкості. Зрозуміло, що без розвитку науки цього не відбудеться. Звичайно, розвиток має бути всебічним, всі науки будуть важливі, та без розв'язання фізичних проблем, не буде про що й думати. Бо йдеться про глибоке знання природи, а це справа фізики як науки про природу.

Отже, фізика – найважливіша з наук для майбутнього.

Вона є фундаментальною наукою. До того ж, фундаментальною в двох аспектах.

По-перше, фізика стала основою для багатьох технічних наук – у будівельній справі, машинобудуванні, авіації, ракетобудуванні, електротехніці, радіотехніці. Цей перелік дуже довгий.

По-друге, фізика є фундаментальною світоглядною наукою.

Наші уявлення про світ, Всесвіт, рух, життя, минуле і майбутнє неможливі без фізики як науки про природу. Тому фізика мусить розвиватись і майбутні фахівці, особливо в галузі техніки, мають розуміти значення фізики для майбутнього.

Але у фізики як науки є багато проблем – давніх, традиційних, фундаментальних і світоглядних. Проблем, які були актуальними сто років тому і такими залишилися й нині. Неможливість знайти відповідь на проблемні питання створює у фізиці певну кризу і зупинку в розвитку. Багато питань стали проблемними через те, що не отримали у свій час правильного визначення й адекватної назви.

Перелічимо деякі найважливіші проблемні питання та проаналізуємо причини їхнього виникнення:

1. За сучасними уявленнями в основі світу є субстанція, яку ми називаємо матерією. Матерія перебуває у двох видах – речовини і поля. Речовина – це добре відомі для нас тіла – вода, камінь, пісок, космічні тіла – Місяць, зорі. І ще важливо, що матерія перебуває в нескінченному русі. Проблемне питання: чи є така форма руху як взаємний неперервний перехід матерії з одного виду в інший? Тобто, з речовини в "поле" і з "поля" – у речовину? Чи треба вивчати такий рух?

2. Інший вид матерії – "поле". Ми знаємо електричне, магнетне, електромагнетне, гравітаційне поля. Електромагнетні поля – це так звані електромагнетні хвилі – світло, радіохвилі, гаммавипромінювання. Нам достеменно відомо, електромагнетне поле, зокрема світло, має двоїсту природу – це хвилі та частинки водночас. Але хвилі – явище просторове, а частинка – локалізована. І це одночасно. Як так може бути?

3. Інша проблема: якщо світло – хвилі, то в якому середовищі вони поширюються? У "ефірі"? Адже ми звикли до того, що хвилі – це коливання якогось середовища. А якщо світло – частинки, то де тут коливний процес?

4. Відомо, що електромагнетна хвиля – це коливання електричного і магнетного полів, які мають енергію. Проблемне питання: у що перетворюється енергія електромагнетної хвилі, коли вона змінюється в процесі коливань?

5. Електричне поле створюються зарядами. А що таке заряд? Це вид матерії чи вияв руху матерії?

6. Чому дифракцію розглядають лише з погляду хвильового підходу? Чому розгляд дифракції з корпускулярного погляду суперечить хвильовому підходу?

7. Рівномірний рух частинки у квантовій механіці розглядають як хвилю де Бройля. Де у хвилі де Бройля коливний процес? Що коливається?

8. Ми знаємо два види взаємодії між тілами – через середовище і через обмін частинками. Обидва види дають відштовхування. А який механізм гравітаційного притягування?

Ми навели тільки частину проблемних питань, які не є вузько-спеціальними, такими, що можуть зацікавити дослідників вузького профілю. Це питання щодо загальноосвітньої і вищої школи є звичними світоглядними. Але з іншого боку, це питання, на які фізика не має відповіді. А відповідь має бути.

Щоб показати це, докладніше проаналізуємо найбільше фундаментальне світоглядне поняття – двоїстість природи матерії. Зауважимо, що наші міркування не будуть виходити за межі шкільних уявлень про ці явища

і процеси. Розглянемо суть проблеми: чи існує перехід матерії з одного виду в інший як форма руху? Тобто, перехід речовини в "поле" і "поля" – в речовину? І чи треба вивчати такий рух? Відповідь однозначна та аргументована. Звичайно, що такий рух є і прикладом може бути ядерна бомба. Відомо, що ядерна бомба працює на підставі поділу ядра урану на осколки і до того ж спостерігається "зникнення" частини маси ядра – так званий "дефект маси". Насправді ж маса безслідно не зникає, бо під час вибуху з'являється гамма-випромінювання, що є іншим видом матерії – "полем". Також відомі досліди про зворотній перехід: два гаммакванти (поле) під час зіткнення зникають, але утворюються електрон (речовина) і позитрон. Однак це все-таки окремі акти переходу речовини в "поле" або "поля" в речовину. Проблемне питання в тому, чи існує перехід одного виду матерії в інший як неперервний процес, як форма руху? Чи існує форма коливного руху типу речовина-поле-речовина –поле-...?

Покажемо, що наочним прикладом переходу речовини в поле і поля в речовину є електромагнетні хвилі, зокрема світло. У фізиці незаперечно відомо, що світло має двоїсту природу – воно є хвилею і частинками водночас. Проте саме питання двоїстості природи світла у традиційному тлумаченні суперечливе.

Сумніву в тому, що світло є хвилею і частинками водночас, нема, та проблема в тому, що ці два поняття суперечать одне одному.

Покажемо, що ця суперечність виникла через нерозуміння справжньої природи світла.

Справді, за існуючими традиційними уявленнями хвиля – явище просторове, а для її поширення потрібне середовище (наприклад, хвилі виникають на воді або звук поширюється в повітрі). А що є середовищем для поширення світла? Гюйгенс понад 300 років тому вважав, що таким середовищем є гіпотетичний "ефір". І відповідно до таких уявлень пояснював світлові явища.

Ньютон розглядав світло як потік корпускул – частинок.

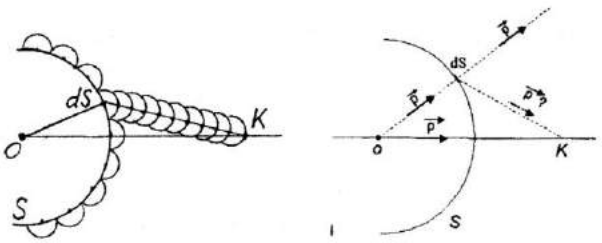
Так тривало до того часу, поки Юнг відкрив таке суто хвильове явище як інтерференція світла. У фізиці на тривалий час запанувала ідея Гюйгенса: світло – це хвилі. І так було доти, поки був відкритий фотоефект – вибивання світлом електронів з речовини, чим була підтверджено, що світло – частинки. Виходило, що, з одного боку, світло – хвилі, які не мають середовища для їхнього поширення. А з іншого боку, світло – це частинки, для поширення яких середовище не потрібне, але незрозуміло, що ж коливається. Тут доречно навести думку Айнштайна щодо питання двоїстості [1]:

"Що таке світло – хвиля чи потік світлових корпускул?... Схоже, що нема ніяких шансів послідовно описати світлові явища, вибравши тільки яку-небудь одну з двох можливих теорій. Стан такий, що ми маємо застосовувати деколи одну теорію, а деколи другу, а час від часу одну й другу. Ми зіткнулися з труднощами нового типу. Маємо дві протилежні картини реальності, але ні одна з теорій окремо не пояснює всіх світлових явищ, тоді як сумісно вони їх пояснюють".

Тобто, Айнштайн бачив суперечність хвильового і корпускулярного уявлень про світло, просто в його час ще не були виявлені причини такої суперечності. А хвильовий підхід під час пояснення природи світла справді суперечить корпускулярному підходу. Покажемо це на конкретному прикладі.

З хвильового погляду світло – це хвилі, що поширюються в середовищі. Тобто, під час поширення хвилі починають коливатися нез-

бурені частини середовища і за принципом Гюйгенса кожна точка хвильової поверхні dS, куди дійшли коливання від джерела O, стає джерелом нових хвиль. Отже, від точки dS, яка прийшла в коливальний стан і стала джерелом нових хвиль, світло може потрапити в точку спостереження K (мал. 1, *а*).



а) б)

Мал. 1. *Принцип Гюйгенса з погляду хвильового (а) і корпускулярного (б) підходів під час пояснення розповсюдження світла*

З корпускулярного погляду світло – це потік частинок – фотонів. Кожен фотон, який вийшов від джерела O, має "імпульс" $\vec{p}$, рухається прямолінійно, а оскільки існує закон збереження "імпульсу", в точці dS змінити напрямок руху не може і потрапити в точку спостереження K також не може (мал. 1, *б*).

Відтак, під час хвильового підходу коливання від точки dS можуть потрапити в деяку точку спостереження K, а під час корпускулярного підходу – не можуть потрапити. Отже, стає очевидним, що хвильовий і корпускулярний підходи суперечать один одному. А це означає, що якийсь з підходів неправильний. Ми можемо обґрунтовано стверджувати, що неправильним є хвильовий підхід, оскільки гіпотетичного середовища "ефіру" для поширення електромагнетних хвиль, за сучасними знаннями, не існує. Тоді виходить, що правильним має бути корпускулярний підхід. Але й тут є проблеми, бо розглядаючи світло як потік частинок, не маємо відповіді на запитання, де ж тут коливання? Що коливається? А коливання насправді є, бо світлові хвилі існують реально, що однозначно й незаперечно підтверджується хвильовим явищем інтерференції.

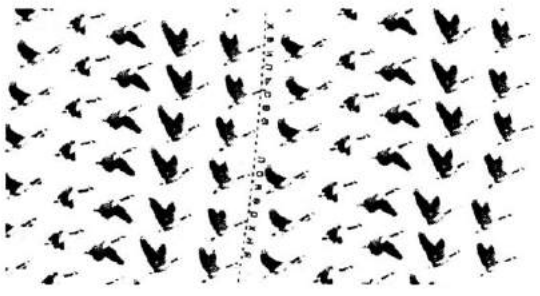
Маємо якесь зачароване коло. Цю проблему усвідомлювали ще сто років тому.

Відомий учений Дебай жартома казав: "Ну що ж, давайте, будемо по понеділках, середах і п'ятницях вважати, що світло – хвилі, а в інші дні – що частинки".

Проблема справді серйозна, бо не має пояснення й досі. Причину такого проблемного стану зі світлом ми вбачаємо в тому, що у фізиці непомічена фундаментальна форма руху, яка зумовлює особливий вид хвильового процесу. Фактично завжди мова йшла про хвилі в середовищі, але ніколи не розглядався хвильовий процес без середовища.

А такий процес існує. Він пов'язаний з потоком частинок, які рухаються поступально і ще внутрішньо коливаються. Тобто, йдеться про те, що в природі існує інша форма хвильового процесу, принципово відмінна від тієї, яку традиційно розглядають у фізиці.

Моделлю таких хвиль може бути політ зграї птахів, які переміщуються поступально і ще махають крилами (мал. 2).



Мал. 2. *Модель хвильового процесу у вигляді птахів у польоті*

Або марш колони солдатів, спортсменів чи музикантів, де кожен як частинка періодично рухає ногами. Таке переміщення коливань у просторі можна розглядати як хвильовий процес (мал. 3).

Мал. 3. *Періодичний рух музикантів можна розглядати як хвильовий процес*

Існує традиційно незвична форма руху як хвильовий процес, пов'язаний з потоком частинок, які рухаються поступально і ще внутрішньо коливаються.

Аналогічно відбувається поширення світла як переміщення у просторі частинок-фотонів, які внутрішньо коливаються. До того ж, ми можемо назвати причину і механізм коливання фотонів. Фотон з'являється під час переходу електрона в атомі з вищого енергетичного стану на нижчий. При цьому відбувається зміна енергії. Однак ми знаємо, що між енергією і масою існує зв'язок:

$$W = c^2 m.$$

Тому зменшення енергії має супроводжуватися зростанням маси, тобто переходом енергії в масу як інший вид матерії (матерія ж не зникає!)

$$\Delta W = c^2 \Delta m \ [2].$$

Це маса змінна (традиційно відома як "релятивістська"), тому далі вона переходить знову в енергію і так виникає коливальний процес типу: енергія–маса–енергія–маса– …

Отже, фотон, безумовно, є частинкою, що цілком відповідає корпускулярному підходу під час пояснення природи світла. Але треба зробити деяке уточнення: фотон є частинкою не звичайною, а такою, що перебуває в коливальному стані. Тобто, фотон є коливальною системою, що й визначає хвильову і корпускулярну природу світла. До того ж, навіть один фотон є справжньою хвилею. Бо що таке хвиля – це коливання, які поширюються в просторі. Це дуже важливо усвідомити, бо в такій науці як квантова механіка як хвильовий процес розглядається рух електронів-частинок.

Електрон, що рухається з великою сталою швидкістю, – це так звана "хвиля де Бройля". Довжина хвилі де Бройля залежить від маси m і швидкості руху υ :

$$\lambda_D = \frac{h}{m\upsilon}.$$

Та цілком резонно виникає запитання: якщо електрон рухається рівномірно, тобто зі сталою швидкістю, то про які коливання йдеться? Що коливається? У традиційних уявленнях про коливання і хвилі відповісти на це запитання не вдається (ну такий він, той мікросвіт!). Але відповідь має бути. І для відповіді на це запитання розглянемо докладніше, що таке рух.

Характеристикою руху є те, що рухається – тіло масою m, і як рухається – тобто швидкість υ.

Такою характеристикою є кількість руху:

$$K = m \cdot \upsilon.$$

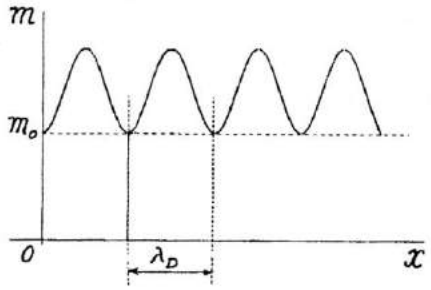
Під час вільного руху тіла його кількість руху не змінюється (закон збереження кількості руху). Але тіло (частинка) просто так зі швидкістю υ не рухається. Воно має цю швидкість набути, а для цього частинку треба пришвидшити. Під час пришвидшення діє сила, вико-

нується робота і зростає енергія. Оскільки між енергією і масою існує зв'язок, то це означає, що зі зміною енергії тіла змінюється його маса:

$$\Delta W = c^2 \Delta m \cdot$$

І саме внаслідок зростання цієї змінної ("релятивістської", динамічної) маси створюються умови для коливного процесу. Коли сила перестає діяти, пришвидшення закінчується, швидкість перестає зростати і частинка далі рухається зі сталою швидкістю. Але з цього часу та динамічна маса, що виникла під час зростання енергії тіла, починає зменшуватися, переходячи в енергію. Тобто, пришвидшена мікрочастинка переходить у коливний стан, при якому відбувається пульсація маси та енергії. Така частинка з пульсувальною масою і є хвилею де Бройля. Це так, як у маятнику, що коливається: кінетична енергія переходить у потенціальну, потенціальна – в кінетичну і т. д.

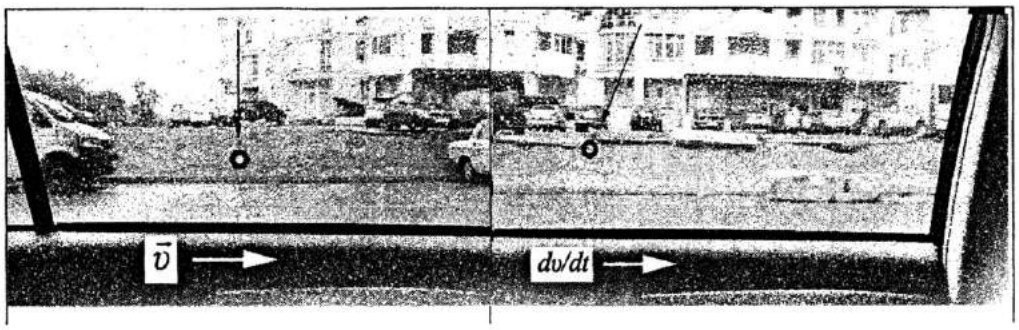
На мал. 4 схематично зображено процес коливання маси пришвидшеного тіла, де m_0 – маса тіла до пришвидшення ("маса спокою").



Мал. 4. *Коливання маси в частинці, що набула пришвидшення і рухається зі сталою швидкістю*

Виникнення коливального процесу в умовах руху під час сталої швидкості можна наочно продемонструвати за допомогою маятника. Наприклад, в автомобілі, який рухається рівномірно, на нитці підвішуємо тіло. Тіло рухається разом із автомобілем зі сталою швидкістю υ. Маємо модель хвилі де Бройля, бо тіло рухається зі сталою швидкістю. Але коливань нема.

На мал. 5 зображено кадр відеознімання, який демонструє, що коли автомобіль рухає-



Мал. 5. *Автомобіль рухається рівномірно зі швидкістю υ. Маятник не коливається*

Мал. 6. *Автомобіль рухається рівномірно після пришвидшення. Маятник приходить у коливальний рух*

ться рівномірно, коливань справді нема. Та за гіпотезою де Бройля таке тіло (частинка) є хвилею, а це означає, що має бути коливальний процес. І він таки є.

Розкриємо суть цього коливального процесу в хвилі де Бройля. Річ у тому, що частинка просто так зі швидкістю υ не рухається – вона цю швидкість має набути завдяки пришвидшенню. Під час пришвидшення автомобіля маятник відхиляється і цим створюються умови для виникнення коливального процесу (мал. 6). І коли автомобіль виходить на постійну швидкість, тоді тіло справді приходить у коливальний рух.

Отже підсумуємо. Фізика є фундаментальною і світоглядною наукою і перед фізикою в майбутньому стоять надвеликі завдання. Тому фізика мусить безперервно розвиватися. Однак у фізиці є традиційні проблемні питання фундаментального світоглядного характеру, на які тривалий час нема відповіді. Причина в тому, що в природі існують хвильові процеси двох принципово відмінних типів:

1. Процес поширення хвиль як коливання середовища;

2. Поширення хвиль як потік частинок, що перебувають у внутрішньому коливальному стані.

Погляд на хвилі як потік частинок, що коливаються, дає змогу зрозуміти, що в електромагнетній хвилі відбуваються коливання типу:

енергія –маса – **енергія** – маса...

А це дає змогу зняти проблемність з багатьох традиційних проблемних питань фізики.

Література

1. Эйнштейн А. Эволюция физики / А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М.: Наука, 1965. – 326 с. (Albert Einstein and Leopold Infeld. The evolution of physics. – Nev York: Simon and Schuster. 1954).
2. Сусь Богдан. Сучасний погляд на традиційні проблемні питання фізики. Науково-методичне видання в мультимедійному представленні / Богдан Сусь. – Київ: Просвіта, 2013. – 130 с.

Детектор брехні

Студент Стандфордського університету 1925 року Леонард Кілер сумістив в одній установці звичайний електрокардіограф (записує електроструми серця), сфігмоманометр (визначає тиск крові), пневмограф (записує амплітуду та частоту дихання) та гальванометр (вимірює провідність шкіри).

Винахідник запевняв, що його установка визначає – каже людина правду чи бреше.

Спочатку цей винахід використовували як "вимірювач кохання". Нареченим рекомендували перед шлюбом перевірити "силу взаємних почуттів".

Вигадка Кілера сподобалась американській поліції. Було розроблено цілу систему роботи з апаратом. Перед тим, як посадити обвинуваченого на апарат Кілера, його "готували", порушуючи рівновагу нервової системи.

Згодом цей апарат почали називати "детектором брехні". Нині удосконалений прилад широко використовують для різних потреб.

ЗАДАЧА, ЯКІЙ НЕ ПОТАЛАНИЛО

Олег Орлянський,
кандидат фізико-математичних наук,
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

Ця задача була запропонована у 2015 році для фіналу LII Всеукраїнської олімпіади з фізики, а згодом у дещо зміненому вигляді для Турніру чемпіонів у Вінниці (XXII Всеукраїнської комплексної олімпіади з математики, фізики та інформатики). З різних причин задача так і не вийшла у світ.

Оскільки питання, які вона піднімає, досить важливі, а в чомусь навіть і руйнівні для певних олімпіадних стереотипів, у автора з'явилося бажання врятувати задачу від забуття і презентувати у вигляді невеликої статті.

Умова

Батискаф проводить наукові підводні дослідження на деякій глибині Тихого океану.

Щоб забезпечити зв'язок батискафу з віддаленим науково-дослідним кораблем, у повітрі висить аеростат.

Знайдіть відстань між батискафом і аеростатом, якщо ультразвуковий сигнал між ними надходить із запізненням 7 с.

На якій відстані може перебувати корабель, який підтримує зв'язок з аеростатом на радіохвилях у межах прямої видимості?

Швидкість звуку у повітрі – 340 м/с, у воді – 1500 м/с.

Відомо, що маятниковий годинник на аеростаті відстає за добу на стільки ж, на скільки маятниковий годинник на батискафі поспішає. Годинники однакові і на поверхні показують точний час.

Вважайте пришвидшення вільного падіння на поверхні $g = 9{,}8$ м/с^2, гравітаційну сталу $G = 6{,}7$ Н·м^2/кг^2, радіус Землі $R = 6400$ км.

Попередній аналіз

Спершу оцінімо можливу відповідь.

Відстань між батискафом і аеростатом обмежена двома значеннями:

$\upsilon_n t = 2{,}38$ км – батискаф біля поверхні, звук усі $t = 7$ с розповсюджується у повітрі;

$\upsilon_в t = 10{,}5$ км – біля поверхні аеростат, звук у воді швидко долає значну відстань.

Отримані значення виглядають цілком реалістично, враховуючи і глибину світового океану, і можливості аеростату.

Тепер можемо перейти до розв'язку задачі.

Період коливань маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

залежить від пришвидшення вільного падіння.

На висоті аеростата пришвидшення вільного падіння g_1 менше, отже період

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_1}}$$

буде більшим. За однаковий час порівняно з маятником на поверхні наш маятник зробить меншу кількість коливань – маятниковий годинник на аеростаті відставатиме.

На глибині батискафу, за умовою, навпаки, період

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_2}}$$

менший, ніж на поверхні, отже пришвидшення вільного падіння g_2 має бути більшим.

У чому причина збільшення пришвидшення вільного падіння? Чи не забув автор врахувати зменшення ефективної маси Землі під батискафом внаслідок його занурення?

Навряд. Він, мабуть, також знайомий із задачею про тунель крізь Землю, у якому пришвидшення вільного падіння з глибиною не збільшується, а зменшується, набуваючи у центрі Землі нульового значення.

Тоді, можливо, причина в обертанні Землі? У відцентровій силі інерції, що на більших відстанях від земної осі суттєвіше зменшує пришвидшення вільного падіння?

Врахування обертання

З'ясуємо, чи слід враховувати обертання Землі, визначаючи пришвидшення вільного падіння на невеликих відстанях від її поверхні.

Для цього розглянемо аеростат і батискаф в екваторіальній зоні, де вплив обертання найсуттєвіший.

Пришвидшення вільного падіння

$$g = \frac{GM}{R^2} - \omega^2 R$$

має доданок $\omega^2 R$, де кутова швидкість обертання Землі

$$\omega = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600 \text{ с}} = 7{,}3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}.$$

Отже, внесок доцентрового пришвидшення

$$\omega^2 R \approx 0{,}034 \text{ м/с}^2$$

становить приблизно 0,3 % від пришвидшення вільного падіння g і ним можна знехтувати.

Зміна $\omega^2 R$ з висотою впливає на зміну пришвидшення вільного падіння ще менше.

Справді, уявімо для визначеності, що батискаф піднявся на деяку висоту H. Пришвидшення вільного падіння стало

$$g_H = \frac{GM}{(R+H)^2} - \omega^2 (R+H).$$

Зменшення пришвидшення вільного падіння на невеликій висоті H (порівняно із земним радіусом):

$$\Delta g = g - g_H \approx \left(2\frac{GM}{R^2} + \omega^2 R\right)\frac{H}{R}.$$

Як бачимо з порівняння доданків у дужках, внесок обертання у зміну Δg удвічі менший, ніж у саме значення

$$g = \frac{GM}{R^2} - \omega^2 R.$$

Отже, обертанням нехтуємо.

Занурення у глибини та надра

На висоті аеростату H пришвидшення вільного падіння буде

$$g_1 = \frac{GM}{(R+H)^2},$$

а період коливань маятника:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{GM}}(R+H). \qquad (1)$$

На глибині h слід врахувати зменшення відстані від батискафу до центру Землі й те, що шар води, який до занурення був внизу, виявися тепер зверху.

Як відомо всередині однорідного сферичного шару його гравітаційне поле компенсується.

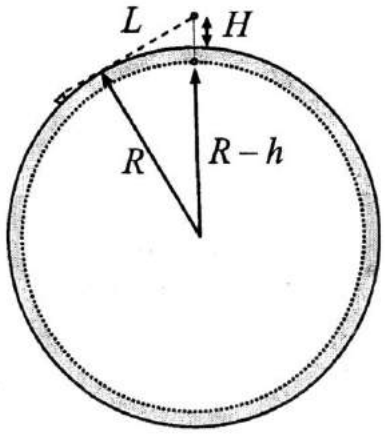
В олімпіадних задачах зазвичай пишуть: "*Землю вважати однорідною кулею*". Тоді й виходить, що всередині Землі на відстані r від її центру пришвидшення вільного падіння

$$g_r = \frac{Gm_r}{r^2} = \frac{G}{r^2}\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_c = \frac{4}{3}\pi G \rho_c r,$$

тобто, лінійно зменшується з глибиною. Але ж добре відомо, що Земля не є однорідною кулею. Її середня густина $\rho_c = 5{,}5$ г/см^3, тоді, як густина у центрі – 13 г/см^3. Густина земної кори приблизно дорівнює 2,5 г/см^3, а густина океану – 1 г/см^3.

Отже, від маси Землі у виразі для пришвидшення вільного падіння треба відняти масу сферичного шару води густиною $\rho = 1$ г/см^3, товщиною h і радіусом, що приблизно дорівнює радіусу Землі:

$$\Delta M \approx 4\pi R^2 h\rho \text{ (див. мал.1).}$$



Мал. 1

Пришвидшення вільного падіння у батискафі:

$$g_2 = \frac{G\left(M - 4\pi R^2 h\rho\right)}{\left(R-h\right)^2},$$

а період коливань маятника

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{G\left(M - 4\pi R^2 h\rho\right)}}\left(R-h\right). \quad (2)$$

За умовою задачі, для обох маятників відносна похибка $\Delta t/t$ у визначенні часу однакова, тобто

$$\frac{T_1 - T}{T} = \frac{T - T_2}{T},$$

або з урахуванням (1) і (2):

$$\frac{H}{R} = 1 - \left(1 - \frac{h}{R}\right)\Big/\sqrt{1 - \frac{4\pi R^2 h\rho}{M}}.$$

Масу Землі можна виразити через пришвидшення вільного падіння на поверхні

$$M = \frac{gR^2}{G}.$$

Тоді останній вираз набуває вигляду:

$$1 - \frac{h}{R} = \left(1 - \frac{H}{R}\right)\sqrt{1 - \frac{4\pi G h\rho}{g}}.$$

Підносимо до квадрату і, враховуючи малі значення всіх відношень, знаходимо

$$\frac{H}{h} = 1 - \frac{2\pi GR\rho}{g} \approx 0{,}725. \quad (3)$$

Отже, у повітрі над океаном на висоті H та під водою в океані на глибині h, пришвидшення вільного падіння однаково відрізняються від пришвидшення вільного падіння на поверхні, перше – в менший бік, а друге – в більший, за умови, що висота H становить 72,5 % від глибини h.

Під час занурення пришвидшення вільного падіння спочатку збільшується, оскільки густина поверхневих шарів (навіть якщо це не вода) менша від 2/3 від середньої густини планети[1], а далі швидко зменшується до нуля у центрі планети. Навіть глибоко в надрах Землі, на поверхні ядра, маса якого оцінюється в $1{,}935\cdot10^{24}$ кг (1/3 маси Землі), а радіус у $3{,}485\cdot10^6$ м, пришвидшення вільного падіння все ще залишається на 8 % більшим, ніж на поверхні планети, в чому легко переконатися безпосереднім розрахунком:

$$g_я = 10{,}6 \text{ м/с}^2,$$

$$\frac{g_я - g}{g} \approx 0{,}08.$$

В олімпіадних задачах зазвичай вважають Землю однорідною кулею, що є лише компромісом між бажаннями та математичними можливостями.

[1]Спробуйте самостійно довести, що пришвидшення вільного падіння у верхніх шарах планети однакове, якщо густина цих шарів становить 2/3 середньої густини планети.

Відстані між тілами

Знайдімо тепер відстань між аеростатом і батискафом.

Вважаймо, що апарати перебувають один над одним. Саме такою була додаткова умова у варіанті задачі, що була запропонована для Всеукраїнської олімпіади з фізики. Таке розташування апаратів найсприятливіше для зв'язку, хоча й не завжди точно виконується.

Загальний час розповсюдження ультразвукового сигналу:

$$t = \frac{h}{\upsilon_в} + \frac{H}{\upsilon_п}.$$

З урахуванням $H = 0{,}725h$, знаходимо:

$$h \approx 2500 \text{ м},$$

$$H \approx 1800 \text{ м},$$

відстань між апаратами буде:

$$l \approx 4300 \text{ м}.$$

Відстань від аеростата до корабля знайдімо, провівши дотичну (мал. 1). З прямокутного трикутника з прямим кутом у точці дотику за теоремою Піфагора знайдімо відстань від аеростату до цієї точки:

$$L = \sqrt{(R+H)^2 - R^2} \approx \sqrt{2RH} \approx 150 \text{ км}.$$

До цієї відстані слід ще додати аналогічний вираз з висотою корабельної антени замість H. Але, по-перше, висота антени значно менша від 1800 м, а, по-друге, слід завжди робити деякий запас відстані для надійного зв'язку. Отже, відстань до корабля не має перевищувати 150 км. У задачі з реальними умовами треба проявляти реалізм.

Зазначимо також, що використана формула для періоду коливань математичного маятника ніяк не вплинула на точність розв'язання. З розмірних міркувань для будь-якого фізичного маятника в полі тяжіння період пропорційний $1/\sqrt{g}$, а саме ця залежність зумовила отриману відповідь.

Розгляньмо тепер загальний випадок.

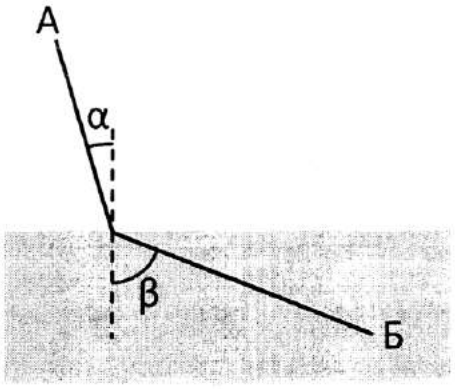
Батискаф рухається, проводячи наукові дослідження, тому горизонтальна відстань між ним та аеростатом може змінюватись. Отже, слід врахувати заломлення звукових хвиль під час проходженні крізь поверхню води.

Довжина хвиль на поверхні океану перевищує довжину ультразвукових хвиль, тому на поверхні існуватиме деяка площа проходження сигналу, щось на зразок місячної доріжки. Це призведе до певного "розмивання сигналу у часі".

Оскільки інформація про океанічні хвилі в умові відсутня, під час розрахунків будемо орієнтуватися на "середню" частину сигналу, що проходитиме через горизонтальну ділянку поверхні (мал. 2).

За законом заломлення:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\upsilon_{пов}}{\upsilon_{вод}} = \frac{34}{150} \approx 0{,}227.$$



Мал. 2

Внаслідок того, що швидкість розповсюдження звуку у воді значно перевищує швидкість розповсюдження звуку у повітрі, кут значно менший від β. Тому відхилення напрямку руху сигналу у повітрі від вертикалі у будь-якому випадку незначне, менше від граничного кута повного внутрішнього відбиття:

$$\alpha_0 = \arcsin\frac{340}{1500} \approx 13^\circ .$$

Це дає змогу суттєво спростити розрахунки, розглядаючи рух сигналу у повітрі як вертикальний. Внаслідок повного внутрішнього відбиття $\alpha < \alpha_0$, $\cos\alpha > \cos 13^\circ \approx 0{,}974$, і похибка визначення часу розповсюдження сигналу у повітрі не перевищуватиме 3 %.

Під час розв'язання олімпіадних задач (на відміну від задач зовнішнього незалежного оцінювання) слід сміливо використовувати оцінки та наближені розв'язки. Зазвичай вони стимулюють розуміння фізики явища, здатні суттєво зберегти час й уберегти від помилкових ідей та результатів.

Відстань між аеростатом та батискафом (точки *А* та *Б* на мал. 3) залежить від кута β:

$$l = \sqrt{(h+H)^2 + (h\,\mathrm{tg}\beta)^2} .$$

Загальний час розповсюдження ультразвукового сигналу:

$$t = \frac{h}{\upsilon_в \cos\beta} + \frac{H}{\upsilon_п} .$$

З урахуванням $H = 0{,}725h$, маємо залежність від кута β глибини занурення батискафа:

$$h = \frac{\upsilon_в t \cos\beta}{1 + 0{,}725\frac{\upsilon_в}{\upsilon_п}\cos\beta} ,$$

а також відстані між апаратами:

$$l = h\sqrt{(1{,}725)^2 + \mathrm{tg}^2\beta} \approx \frac{\sqrt{1+2\cos^2\beta}}{1+3{,}2\cos\beta}\upsilon_в t .$$

Відстань монотонно збільшується зі збільшенням кута β від уже отриманого значення $l \approx 4300$ м, коли апарати знаходяться на одній вертикалі, до зробленої на самому початку оцінки $\upsilon_в t = 10{,}5$ км, коли $\beta \to \frac{\pi}{2}$.

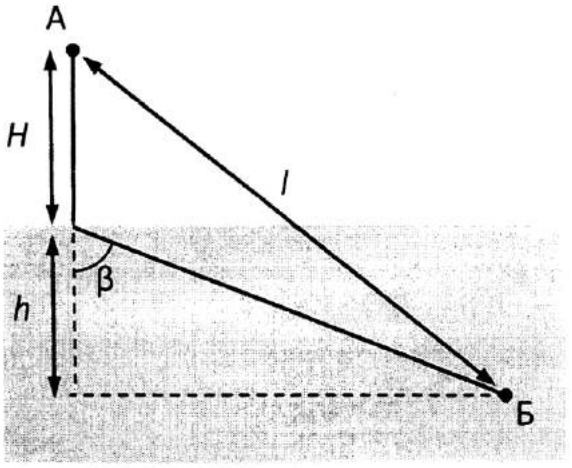


Рис. 3

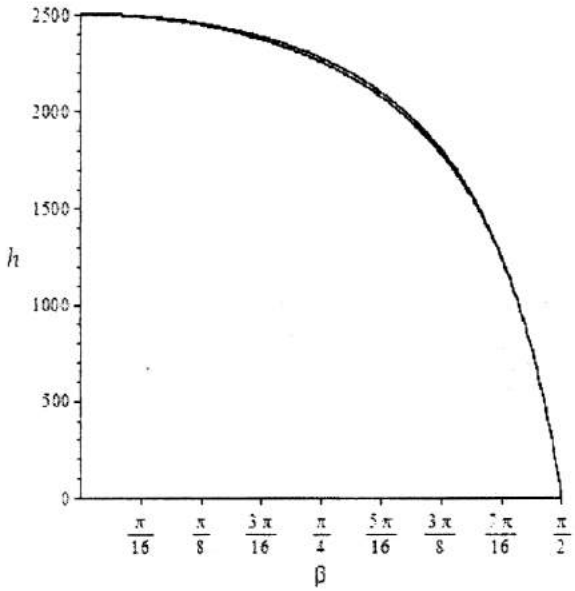
В останньому випадку все відбувається на межі повного внутрішнього відбиття, й аеростат, і батискаф перебувають поблизу поверхні, що, взагалі кажучи, робить сумнівним як ефективність зв'язку між ними, так і зв'язку між аеростатом і "віддаленим науково-дослідним кораблем".

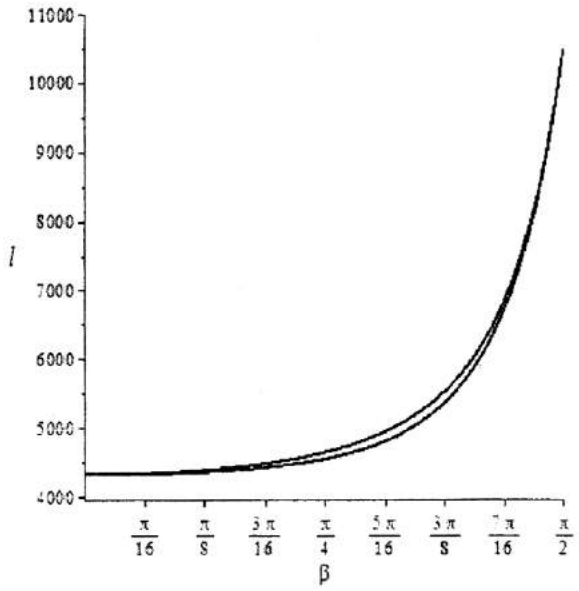
Зазначимо, що наше спрощення (вертикальний рух сигналу у повітрі) дало змогу зекономити час та отримати зручні для аналізу формули. Наскільки великою виявилася при цьому похибка можна зрозуміти з наведених графіків залежності глибини занурення батискафу h і відстані між апаратами l від кута β. Дві криві на графіках відповідають наближеному і точному розв'язку, відстані подано у метрах.

Насамкінець ще раз зупинімось на коректності вилучення зовнішнього шару води для розрахунку пришвидшення вільного падіння у батискафі. З одного боку, більша частина поверхні Землі вкрита океаном, з іншого, – існують материки з високими гірськими масивами.

Як врахувати їхній вплив?

Ніяк.





По-перше, порівняно з розмірами Землі їхні висоти не виглядають переконливими (особливо, якщо Ви перебуваєте далеко від них, десь за обрієм в океані).

По-друге, коли з підняттям аеростату Ви обчислюєте пришвидшення вільного падіння, Ви власноруч даєте відповідь на поставлене запитання – з прийнятною точністю Землю можна вважати кулею, нехтуючи особливостями її рельєфу.

Тоді уявіть Землю без відносно тонкого зовнішнього шару з густиною води. Віднімітьвід густини твердих порід густину води у тих місцях, де цей шар їх перетинає. Як і до цього таку "Землю" можна вважати сферичною не лише під час піднімання над її поверхнею, а й під час занурення на невеликі глибини.

Отже, загальний гравітаційний вплив справжньої Землі складається з гравітаційного впливу "Землі" без відносного тонкого шару води і гравітаційного впливу цього шару.

Гравітація всередині однорідного сферичного шару компенсується. Саме на цьому ґрунтується ідея розв'язання задачі.

Нарешті, на якісному рівні можна міркувати й так. Батискаф занурюється, відстань до центру Землі зменшується, сила тяжіння має зростати. Але ж товща води, яка перед цим була під батискафом і тягнула його разом з усією Землею донизу, тепер тягне своєю гравітацією догори. Що у підсумку виявиться більшим, залежить від відношення густини води до середньої густини планети.

Пам'ятаєте, густина поверхневих шарів у граничному випадку має бути у півтора рази менша від середньої густину планети?

Спробуйте узагальнити і розв'язати, можливо, не дуже реалістичну, але цікаву та повчальну задачу.

Знайдіть залежність густини планети від відстані до її центру, за якої пришвидшення вільного падіння буде однаковим:

1. На будь-якій глибині, за винятком хіба що самого центру;

2. На будь-якій глибині аж до ядра, густину якого можна вважати сталою.

Нобелівський комітет нагородив 1915 року Нобелівською премією з фізики канадського фізика Артура Брюса Макдональда (Arthur Bruce McDonald) та японського фізика Такааку Кадзіта (Takaaki Kajita) "за відкриття нейтронних осциляцій, які підтверджують, що нейтрино мають масу".

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ 2015

Такаака Кадзіта

Брюс Макдональд

Нейтрино має масу

Галина Шопа,
Львівський національний університет імені Івана Франка

Нобелівською премією з фізики 2015 року нагородили канадського фізика Артура Брюса Макдональда (Arthur Bruce McDonald) і японського фізика Такааку Кадзіта (Takaaki Kajita) "за відкриття нейтронних осциляцій, які підтверджують, що нейтрино мають масу".

Відомо три сорти нейтрино: електронне (ν_e), мюонне (ν_μ) і тау-нейтрино (ν_τ), вони постійно ніби "перетікають" один в одного під час польоту. Нейтрино може народитися в електронній іпостасі, але, пролетівши кілометри і потрапивши у детектор, проявитися там як мюонне або тау. Це і називається "осциляції нейтрино" – той фізичний ефект, за доведення якого дослідників нагородили Нобелівською премією.

Нейтрино – частинки, що не мають електричного заряду, дуже слабо взаємодіють з матерією – тому їх надзвичайно важко виявити.

Їхнє існування ще 1930 року передбачив Вольфґанґ Ернст Паулі (Wolfgang Ernst Pauli, 1900–1958). Тоді науковець був переконаний, що нейтрино неможливо виявити. Та був дуже щасливий, що його переконання не справдалися, коли 1956 року американський фізик Фредерік Райнес (Frederick Reines, 1918–1998) і Клайд Коуен виявили антинейтрино, що випускаються під час ядерного випромінювання. За ці дослідження науковці 1995 року отримали Нобелівську премію з фізики.

Італійський фізик Бруно Понтекорво (Bruno Pontecorvo, 1913–1993) 1957 року припус-

тив, що кілька типів або "ароматів" нейтрино існують і що вони можуть змінюватися або "коливатися" від одного до іншого. Кілька "ароматів" нейтрино були підтверджені 1962 року, коли американські фізики Леон Ледерман (Leon Lederman, 1922 р. н.), Мелвін Шварц (Melvin Schwartz, 1932–2006) і Джек Штейнбергер (Jack Steinberger, 1921 р.н.) у Брукгейвенській національній лабораторії (США) як і В. Паулі спостерігали існування електронного нейтрино, а також мюонів.

М. Шварца, Л. Ледермана і Дж. Штайнберґера нагородили Нобелівською премією з фізики 1988 року "за відкриття мюонного нейтрино", на яку науковці чекали 27 років. Ці дослідження започаткували нейтринні експерименти на пришвидшувачах. Їх почали використовувати для вивчення слабких взаємодій.

Відкриття електронного нейтрино бере початок від гіпотези швайцарського фізика-теоретика В. Паулі (1930), за якою в 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 через пояснення застосування законів збереження до β-розпаду радіоактивних атомних ядер.

Після відкриття 1932 року нейтрона Фермі, використовуючи гіпотезу про нейтрино, побудував теорію β-розпаду, за якою перетворення нейтрона (протона) у протон (нейтрон) супроводжує народження електрона (позитрона) та антинейтрино (нейтрино). Теоретичні оцінки проникної здатності нейтрино показали, що довжина його вільного пробігу

Вольфґанґ Ернст Паулі (Wolfgang Ernst Pauli) народився 25 квітня 1900 року у Відні (Австрія). Його батько Вольфґанґ Йозеф Паулі був відомим фізиком та біохеміком, професором колоїдної хемії Віденського університету, мати – письменницею. Сім'я спілкувалася з театральними та журналістськими колами Австрії. Відомий фізик та філософ Ернст Мах був хрещеним батьком Вольфґанґа. Навчаючись у середній школі, хлопець виявив неабиякі математичні здібності. Однак заняття в школі йому були нецікаві, тому Вольфґанґ самостійно почав вивчати вищу математику. Там він одержав ґрунтовні знання класичної фізики й ознайомився з новою на той час теорією відносності.

В. Паулі 1918 року вступив до Мюнхенського університету, де вивчав фізику під керуванням відомого фізика А. Зоммерфельда.

У цей час німецький математик Фелікс Кляйн видавав математичну енциклопедію. Він запропонував А. Зоммерфельдові написати огляд загальної та спеціальної теорії відносності Айнштайна, а той попросив написати цю статтю 20-річного Паулі. Вольфґанґ швидко написав статтю, обсягом 250 сторінок, яку А. Зоммерфельд та А. Айнштайн відзначили як професійну.

В. Паулі 1921 року у Мюнхенському університеті захистив докторську дисертацію з теорії молекули водню. Його науковим керівником був А. Зоммерфельд. В. Паулі в 1921–1922 рр. працював асистентом М. Борна на кафедрі теоретичної фізики Ґеттінґенського університету.

Учений 1922 року зустрівся з Н. Бором, коли той читав лекції в Ґеттінґенському університеті. Тоді Н. Бор готував до видання свої праці німецькою мовою і йому був потрібний фахівець, який добре володів німецькою мовою. Він запросив для цієї роботи В. Паулі. Наприкінці 1922 року він почав працювати асистентом у Н. Бора в Копенгагені.

в речовині величезна і вимірюється світловими роками. Тому довго вважали, що внаслідок такої справді фантастичної проникної здатності спостереження (детектування) цієї частинки майже неможливе.

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

Перші успішні експерименти з безпосереднього виявлення нейтрино виконали американські фізики Ф. Рейнс і К. Коуен 1953–1956 рр. Вони спостерігали поглинання антинейтрино від атомного реактора протонами, у результаті чого утворювались нейтрони і позитрони, які надійно детектувались. Це було перше пряме спостереження цієї дивовижної частинки, яка може проникнути крізь стіну, завтовшки 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 їхній розпад супроводжує випромінювання нейтрино. π- і K-мезони розпадаються на мюон і нейтрино, а мюон – на електрон (позитрон) і два нейтрино. Уже тоді виникло припущення, що нейтрино, утворене в парі з мюоном відрізняється від нейтрино, утвореного в парі з електроном.

Для експериментальної перевірки цих припущень Б. Понтекорво і, незалежно М. Шварц, 1959 року запропонували використати потік нейтрино високої енергії, що утворюється під час розпаду π-мезонів, які можна отримати за допомогою потужних пришвидшувачів.

Під впливом А. Зоммерфельда, М. Борна, Дж. Франка та Н. Бора він зацікавився квантовою теорією, яка пояснювала властивості атома і субатомних частинок.

В. Паулі 1925 року став асистентом-професором теоретичної фізики Ґамбурзького університету. Там він займався атомною фізикою, працював над теорією ефекта Зеємана та інших видів спектрального розщеплення. Він передбачив, що електрони володіють деякою властивістю, яку згодом Самуель Ґаудсміт і Джордж Уленбек назвали спіном. У магнетному полі спін електрона має дві можливі орієнтації: спін може бути спрямований у бік поля, або в протилежний. Орбітальний рух електрона в атомі визначає ще одну вісь, яка орієнтується по-різному залежно від прикладеного зовнішнього поля. Різні можливі комбінації спінової та орбітальної орієнтації мало відрізняються енергіями, що приводить до збільшення кількості атомних енергетичних станів. Переходи електронів з кожного із цих підрівнів на іншу орбіту і пояснює тонке розщеплення спектральних ліній.

Згодом, як В. Паулі ввів властивість "двозначності" електрона, він пояснив, чому всі електрони в атомі не займають найнижчий енергетичний рівень. У доповненій ним моделі Бора дозволені енергетичні стани описано чотирма квантовими числами для кожного електрона. Ці числа визначаються енергетичним рівнем електрона, його орбітальним моментом, магнетним моментом та орієнтацією його спіна. Кожне із цих квантових чисел може набувати лише деяких визначених значень. Однак допустимі тільки деякі комбінації цих значень.

В. Паулі сформулював закон, який став відомим як принцип заборони Паулі, за яким жодні два електрони в атомній системі не можуть мати однакові комбінації квантових чисел. Тому кожна оболонка атома може містити лише певну кількість електронних орбіт, що визначаються значеннями квантових чисел.

Під час взаємодії таких нейтрино з нуклонами можуть виникати мюони, а у випадку тотожності електронного та мюонного нейтрино – позитрони. Якщо ж в експерименті спостерігатимуть лише мюони, то це буде доказом існування двох різних типів нейтрино.

Сподівання на успішне здійснення експериментів за порівняно невеликої густини нейтринного пучка від протонного пришвидшувача, було пов'язувано із тим, що ймовірність взаємодії нейтрино з нуклонами швидко зростає з ростом енергії. До того ж розбіжність пучка нейтрино зменшується із зростанням енергії внаслідок релятивістських ефектів.

Перший успішний експеримент, що показав існування двох типів нейтрино, здійснили 1962 року американські фізики Л. Ледерман, М. Шварц і Дж. Штайнберґер на протонному пришвидшувачі Брукгейвенської національної лабораторії в США. Пришвидшені до 15 ГеВ протони, бомбуючи берилієву мішень, породжували багато різних частинок, зокрема π- і K-мезони, які в цьому експерименті пролітали відстань майже 20 м і розпадались на мюони та нейтрино. Далі наступала відповідальна стадія експерименту: пучок потрапляв на сталевий екран завтовшки 13,5 м, що затримував мюони та всі інші частинки, крім нейтрино, які без перешкод проникали крізь сталевий бар'єр. За ним був розміщений новий на той час детектор (іскрова камера), що містив 100 алюмінієвих пластин завтовшки 2,5 см загальною масою 10 тонн, розді-

---

Паулі також пояснив хемічну взаємодію елементів і їхнє розташування в періодичній системі хемічних елементів. Сам Паулі використовував принцип заборони для того, щоб зрозуміти також магнетні властивості простих металів і деяких газів.

Згодом принцип заборони Паулі знайшов теоретичне обґрунтування в працях Е. Шрединґера, В. Гайзенберга та П. Дірака. Атомну модель Бора замінила квантово-механічна, яка успішно пояснила спектри випромінювання й поглинання та інші атомні явища. Щодо досягнень В. Паулі в цій галузі, то вони дали змогу поширити квантову механіку на фізику частинок високих енергій, взаємодію частинок з електромагнетними полями. Ці напрями згодом стали відомі як релятивістська квантова електродинаміка.

В. Паулі 1928 року обійняв посаду професора Федерального технологічного інституту в Цюріху, де працював до кінця життя.

Недовго (1935–1936) фізик працював у Інституті фундаментальних досліджень у Принстоні (штат Нью-Джерсі, США). У роки Другої світової війни, коли з'явилась небезпека окупації Швайцарії, науковець повернувся до цього ж Інституту, де очолював кафедру теоретичної фізики в 1940–1946 рр.

Згодом В. Паулі зробив ще один великий внесок у фізичну науку. Спостереження за β-розпадом атомних ядер, коли нейтрон в ядрі випромінює електрон, перетворюючись у протон, привернули увагу до проблеми виконання закону збереження енергії. Після розпаду енергія усіх продуктів цього процесу стала менша, ніж енергія до розпаду. В. Паулі 1930 року висловив гіпотезу, що під час β-розпаду випромінюється якась ще невідома нейтральна частинка з півцілим спіном та масою спокою, близькою до нуля, яка забирає виявлений раніше дефіцит енергії. Згодом Е. Фермі назвав цю частинку нейтрино.

Упродовж 25-ти років з часу народження гіпотези про нейтрино експериментатори не могли його виявити. Нейтрино вдалося зареєструвати лише 1956 року.

В. Паулі нагородили Нобелівською премією з фізики 1945 року за "відкриття принципу заборони, який називають принципом Паулі".

лених іскровими проміжками. Експериментатори сподівалися, що потік нейтрино, пройшовши крізь алюмінієві пластини, з деякою ймовірністю взаємодіятиме з атомами алюмінію, породжуючи під час цих взаємодій мюон або електрон. Оскільки між пластинами (електродами) було прикладено високу напругу, частинки могли спричинити появу іскрового розряду, який свідчив про реакцію нейтрино з алюмінієм. Пришвидшувач працював в імпульсному режимі, що дало змогу врахувати фон, пов'язаний з космічним випромінюванням.

У дослідах, які тривали півроку, крізь іскрову камеру пролетіло понад 100 мільйонів нейтрино, і було зареєстровано 30 випадків, коли у результаті взаємодії мюонних нейтрино з протонами і нейтронами утворювались мюони. Лише в шести випадках підозрювали народження електрона або позитрона, хоча при тотожності електронного й мюонного нейтрино їх мало б бути стільки ж, скільки випадків утворення мюона.

У цих експериментах переважно реєстрували мюон, а не електрон. Нейтрино, що народилися під час розпадів, в яких з'являлись мюони, ніби пам'ятали про своє походження. Під час наступної взаємодії вони знову породжували мюони. Так було доведено існування нового типу нейтрино – мюонного.

Аналогічним експериментом, який 1964 року провели в ЦЕРНі, було підтверджено цей результат, а згодом (1964–1967) довели відмінність мюонного нейтрино від мюонного антинейтрино.

Експериментальний доказ існування мюонного нейтрино, відмінного 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 долучити до групи лептонів, які було відкрито 1975 року, важкий лептон – τ-лептон, який із τ-лептонним нейтрино також утворює дуплет. М. Шварц 1976 року відкрив піоній.

Третій тип нейтрино (тау) передбачили 1975, а відкрили 2000 року.

Концепція нейтронних осциляцій стала актуальною 1964 року, коли американські фізики Раймонд Девіс (Raymond Davis, 1914–2006) і Джон Бакал (John Bahcall, 1934–2005)

Науковець 1946 року повернувся до Швайцарії, де працював над вивченням взаємодії частинок високої енергії та над проблемою ролі симетрії в мікросвіті.

Науковець цікавився також філософією і психологією, високо цінував мистецтво, музику і театр. Займався плаванням і любив мандрувати під час відпустки горами й лісами Швайцарії.

В. Паулі був членом багатьох фізичних товариств, нагороджений багатьма престижними нагородами.

Помер Вольфґанґ Ернст Паулі 15 грудня 1958 року в Цюріху (Швейцарія).

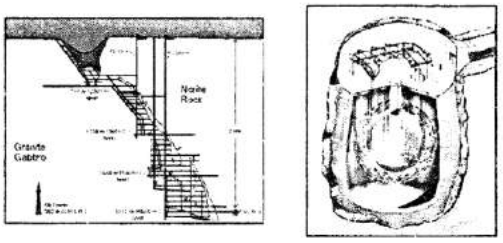
Мелвін Шварц (Melvin Schwartz) народився 2 листопада 1932 року в Нью-Йорку під час Великої депресії в США. Його батьки важко працювали, щоб забезпечити хоч якесь існування, але вони виховували сина бути оптимістом, що й допомогло йому в особистому та професійному житті в майбутньому. Мелвін почав цікавитися фізикою ще в дванадцять років, коли вчився в одній із шкіл Нью-Йорка (цю школу закінчили чотири Нобелівські лавреати).

М. Шварц 1949 року продовжив навчання на фізичному факультеті Колумбійського університету.

виявили експериментально, що серед їхніх сонячних нейтрино виявлено лише 30 % електронних, що передбачено теорією, яку розробив Бакал. Цю розбіжність можна пояснити, тільки тим, що нейтрино коливається між "смаками", коли вони летять від Сонця до Землі. Якщо коливання відбувалося, то це означало, що нейтрино мають масу, всупереч тому, що Стандартною моделлю фізики елементарних частинок це не передбачено.

Японський фізик Такаакі Кадзіта 1998 року оприлюднив результати, що були отримані в експерименті Супер-Каміоканде (Super-Kamiokande), в яких показано, що стани електронів мюонних нейтрино, що надходять із протилежних сторін до Землі, були різні. Це означало, що ці нейтрино, які утворюються під час космічного випромінювання взаємодіють з ядрами у верхніх шарах атмосфери – змінювали "смак", коли досягали Землі. Це вперше підтвердило, що нейтрино мусять мати масу.

Згодом (2001 і 2002 роках) Макдональд з колегами із нейтринної обсерваторії Садбері (SNO) повідомили, скільки електронних нейтрино в зміні Сонця в мюонних нейтрино або тау-нейтрино, коли вони подорожують до Землі. Ці виміри дали змогу Макдональдові та його колегам підтвердити теоретичне передбачення Бакала сонячного потоку нейтрино і електрон також показують, що майже дві третини сонячних електронних нейтрино змінювали "смак" до того часу, коли вони досягли Землі.



Нейтринна обсерваторія Садбері (SNO)

Науковець працював у Колумбійському університеті сімнадцять років, обіймаючи посади від асистента до професора. А 1966 року перейшов до Стенфордського університету, де щойно побудували пришвидшувач і розпочали наукові дослідження асиметрії заряду під час розпаду нейтрального каону.

М. Шварц працював у Брукгейвенської національної лабораторії у 1956–1958 роках.

Учений в лютому 1991 року повернувся до Стенфорда, де став професором і асоційованим директором в Інституті високої енергії і ядерної фізики. Науковець 1997 року вийшов на пенсію, переїхав разом із сім'єю до Кетхума.

М. Шварц був членом Американської національної академії наук та багатьох інших.

Помер Мелвін Шварц 28 серпня 2006 року.

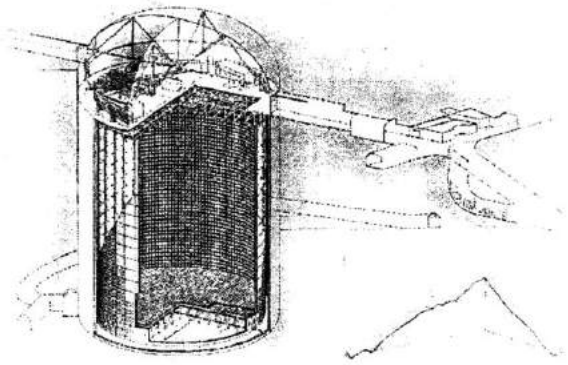
Леон Ледерман (Leon Lederman) народився 15 липня 1922 року в Нью-Йорку (США) в сім'ї емігрантів. Його батько Моріс Ледерман був власником невеликої пральні й шанобливо ставився до науки. Він був здібним хлопцем і пішов до школи у п'ять років.

Він 1943 року закінчив Нью-Йоркський коледж і вступив до Колумбійського університету. Однак йому довелось перервати навчання, і три роки відслужити в американській армії. Там він дослужився до лейтенанта. Л. Ледерман у вересні 1946 року вступив до аспірантури, де його науковим керівником був відомий фізик І. Рабі.

На фізичному факультеті Колумбійського університету побудували синхроциклотрон (з енергією 385 МеВ). Тоді там працювало багато відомих фізиків, яких запросив І. Рабі: Дж. Бернардіні з Риму, Д. Тінлот з Массачусетського технологічного інституту, Дж. Штайн-

Це відкриття є здобутком експериментальної фізики, бо нейтрино не мають електричного заряду і дуже рідко взаємодіють з матерією. Відтак їх надзвичайно важко виявити. Тому дослідницьку лабораторію в Японії (Супер-Каміоканде) розташовано у шахті глибоко під землею на глибині 1000 м в області Каміока, щоб захистити чутливі сенсори від космічних променів та інших фонових випромінювань. Лабораторію побудували 1996 року спільно американські та японські дослідники.

Супер-Каміоканде містить 50 тисяч тонн спеціально очищеної води у циліндричному резервуарі з нержавіючої сталі. Циліндр має висоту 42 м і діаметр 40 м. Вся ця конструкція оточена 11146 фотопомножувачами. Також детектор оснащений величезною кількістю електроніки, комп'ютерами, калібрувальними пристроями та обладнанням для очищення води. Це надзвичайно світлочутливі прилади: під час попадання на їхню поверхню навіть одного кванта світла вони генерують електричний імпульс, який далі обробляє спеціальна електронна система.



Дослідницька лабораторія Супер-Каміоканде

берґ із Берклі. Л. Ледерман долучився до них 1948 року. Керував проєктом Е. Т. Вус. Завданням Л. Ледермана було створити камери Вільсона.

Захистивши 1951 року в Колумбійському університеті докторську дисертацію та здобувши ступінь доктора наук, Л. Ледерман залишився там працювати. У цьому університеті він працював упродовж 28 років.

Л. Ледерман 1958 року став професором і цього ж року почав працювати в ЦЕРНі, де очолив групу науковців. Л. Ледерман співпрацював з відомими фізиками: Дж. Шарпаком, Рікассо, Фарлеєм, Сенсом та інш. Це була дуже плідна співпраця, яка продовжувалась до середини 1970-х років.

Л. Ледерман 1961 року став директором Невіської національної лабораторії, в якій працював до 1978 року. Його запрошували працювати до багатьох лабораторій, але найбільше часу він працював у Невіській, Брукгейвенській національних лабораторіях, Національній лабораторії імені Фермі, ЦЕРНі.

Л. Ледерман 1979 року обійняв посаду директора Національної лабораторії Фермі, де керував будівництвом найбільшого в світі пришвидшувача.

Фізик 1989 року звільнився з Лабораторії Фермі й обійняв посаду професора фізики Чиказького університету. Його 1989 року призначили радником з науки губернатора штату Іллінойс. Л. Ледерман багато зробив для реорганізації освіти в США. Він організував Академію викладачів математики й науки для перекваліфікації вчителів. Науковець 1991 року став президентом Американської асоціації розвитку науки.

Л. Ледерман тісно співпрацював із багатьма відомими науковцями, опікувався обдарованими дітьми, популяризував науку. Був членом опікунської ради штату Іллінойс.

Л. Ледерман одержав багато престижних нагород. Науковець є членом консультативної ради фізики високих енергій і Міжнародного комітету з планування майбутніх пришвидшувачів.

Джек Штайнберґер (Jack Steinberger) народився 25 травня 1921 року в м. Бад Кізінґені (Німеччина).

На початку 1934 року Джек з братом виїхали до США. Джек почав навчатися в середній школі в Чикаґо, яка була розміщена в мальовничому місці, мала добре обладнані кабінети та бібліотеку. Там працювали висококваліфіковані учителі. Його батьки 1938 року еміґрували до США, де згодом утримували маленьку крамничку.

Джек продовжив навчання в Технологічному інституті в штаті Іллінойс, де вивчав хемічну технологію. Він був добрим студентом. За два роки Джек був змушений залишити навчання і шукати роботу, щоб матеріально підтримати сім'ю. Роботу в той час знайти було важко. Йому всюди відмовляли. Врешті Джекові вдалось влаштуватися в хемічній лабораторії, де він мив хемічний посуд, отримуючи сім доларів на тиждень. Вечорами хлопець вивчав хемію в Чиказькому університеті, а у вихідні дні – допомагав батькам. У 1942 році отримав диплом з хемії.

Коли Японія напала на США, Дж. Штайнберґера призвали до армії, де він пройшов курси, працював у променевій лабораторії Чиказького університету. У цій лабораторії створювали радари, він розробляв антени. Там працювало багато відомих фізиків і під їхнім впливом він вирішив далі займатися фізикою.

Після Другої світової війни Дж. Штайнберґер здобув фах фізика в Чиказькому університеті, де слухав лекції Е. Фермі, Е. Тейлора та ін.

Дж. Штайнберґер хотів займатися теоретичною фізикою, але він не був достатньо підготовлений. Е. Фермі попросив його продовжити експериментальні дослідження, які Дж. Штайнберґер закінчив 1948 року, і якими показав, що мюон розпадається на електрон і два нейтрино. Ці експерименти стали підґрунтям теорії слабкої взаємодії.

Експериментальні дослідження учений продовжив у Науково-дослідному інституті в Принстоні, директором якого був Р. Оппенгаймер.

Згодом, 1949 року, учений перейшов працювати до Каліфорнійського університету. Там були сприятливі умови для експериментальних досліджень. Він упродовж року працював на щойно побудованому синхротроні, довів існування нейтрального піона та виміряв час його життя. За рік роботи через непорозуміння з керівництвом Дж. Штайнберґер змушений був перейти до Колумбійського університету. Там продовжив дослідження, в яких почав використовувати бульбашкову камеру Глейзера. Науковці її вдосконалили, застосувавши швидке повторне стискання рідини з газовими бульбашками, що сповільнило їхнє спливання в рідині.

У Колумбійському університеті Дж. Штайнберґер брав участь у багатьох важливих ядерно-фізичних експериментах. Він 1961 року, скориставшись пропозицію М. Шварца, долучитися до проведення нейтринних експериментів. Цими експериментами дослідники довели існування мюонних нейтрино, за що й одержали Нобелівську премію з фізики.

Після повідомлення про порушення CP-симетрії Дж. Штайнберґер і К. Руббіа 1964 року почали досліджувати ймовірність розпаду каонів. Їхній експеримент був успішним і став важливим для глибшого розуміння порушення CP-симетрії.

Від 1968 року Дж. Штайнберґер працював з науковцями ЦЕРНа, які здійснювали нейтринні експерименти. Він проєктував детектори і брав участь в експериментах із виявлення нейтральних струмів у слабких взаємодіях.

Дж. Штайнберґер 1986 року обійняв посаду професора Вищої нормальної школи при Пізанському університеті. Однак, і надалі продовжував активно займається науковими дослідженнями в ЦЕРНі.

РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ IV ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Запоріжжя, 2015)

10 клас

Задача 1.

За умовою задачі під час спуску пінгвін не відривається від поверхні айсбергу.

Це можна розуміти по-різному.

1. Пінгвін за будь-якої швидкості нездатний відірватися від схилу, оскільки це заборонено автором задачі (птах до схилу наче приклеївся).

2. Бажання автора недостатньо і треба врахувати фізичні чинники, що зумовлюють рух без відриву (швидкість, кривизна траєкторії).

Тоді до малюнку можна віднестися або як до суто схематичного, або як до такого, що дає змогу змоделювати профіль схилу дугами парабол, кіл, тощо...

Найбільшої швидкості на горизонтальній ділянці пінгвін може набрати, рухаючись з максимальним пришвидшенням μg вздовж діаметру:

$$\upsilon_0 = \sqrt{2\mu g d} = 2\sqrt{\mu g r}\,.$$

Далі скористуємось законом збереження енергії:

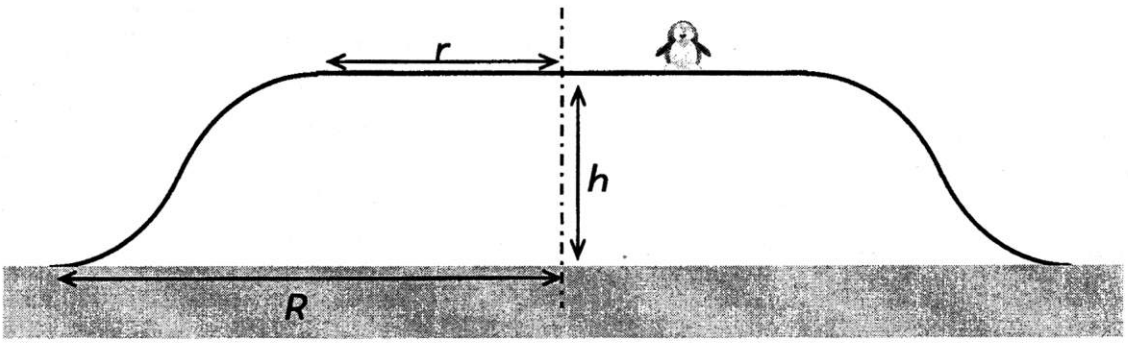
$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} + mgh = \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (1)$$

Отримаємо максимальну швидкість під час входження у воду:

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gh} = \sqrt{2g(2\mu r + h)} = 14 \text{ м/с}\,.$$

Внаслідок циліндроподібної форми айсбергу і відсутності сил тертя, на пінгвіна під час спуску діє спрямована у вертикальній площині сила реакції з боку схилу. Отже, момент імпульсу пінгвіна відносно осі симетрії айсберга зберігатиметься.

Припустимо, що пінгвін підбігає під кутом α до лінії майданчика (дуги кола радіусом r), а залишає айсберг під кутом β до дуги кола радіусом R.



За законом збереження імпульсу маємо:

$$m\upsilon_0 r\cos\alpha = m\upsilon R\cos\beta,$$

де υ_0, υ – швидкості на початку і наприкінці спуску.

Пінгвін набув швидкості υ_0, розганяючись уздовж хорди, довжина якої дорівнює

$$l = 2r\sin\alpha,$$

тобто, він міг досягнути максимальної швидкості

$$\upsilon_0 = \sqrt{2\mu g l} = \sqrt{4\mu g r\sin\alpha}\,.$$

Виразимо $\cos\beta$ із закону збереження моменту імпульсу і врахуємо закон збереження енергії:

$$\cos\beta = \frac{r\upsilon_0}{R\upsilon}\cos\alpha =$$

$$= \frac{r\upsilon_0\cos\alpha}{R\sqrt{\upsilon_0^2 + 2gh}} = \frac{r\cos\alpha}{R\sqrt{1+\dfrac{2gh}{\upsilon_0^2}}}.$$

Як бачимо з останнього виразу, що чим більшою буде швидкість υ_0, то більшим буде $\cos\beta$, а, отже, меншим β.

Тому підставимо

$$\upsilon_0 = \sqrt{4\mu g r\sin\alpha}$$

та отримаємо:

$$\cos\beta = \frac{r\cos\alpha}{R\sqrt{1+\dfrac{h}{2\mu r\sin\alpha}}} =$$

$$= \frac{r}{R}\sqrt{\frac{\sin\alpha\cos^2\alpha}{\sin\alpha + \dfrac{h}{2\mu r}}}.$$

Залишається проаналізувати, за якого кута α кут β буде мінімальним.

Підкореневий вираз доволі складний, але, у нашому випадку його можна спростити, оскільки

$$\frac{h}{2\mu r} = 1.$$

$$\cos\beta = \frac{r}{R}\sqrt{\frac{\sin\alpha\cos^2\alpha}{\sin\alpha+1}} =$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\sin\alpha(1-\sin^2\alpha)}{1+\sin\alpha}} =$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\sin\alpha - \sin^2\alpha} =$$

$$= \frac{1}{2}\sqrt{\frac{1}{4} - \left(\frac{1}{2} - \sin\alpha\right)^2}.$$

Найбільше значення

$$\cos\beta = \frac{1}{4}$$

матимемо, якщо

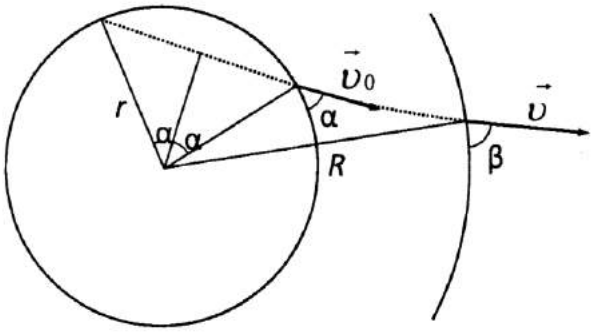
$$\sin\alpha = \frac{1}{2}.$$

Отже, пінгвін має розігнатися вздовж хорди, що утворює з дугою у місці дотику кут $\alpha = 30°$, і, з'їхавши донизу, відірветься від краю айсберга під кутом

$$\beta = \arccos\left(\frac{1}{4}\right) \approx 75{,}5°.$$

Тепер спробуймо врахувати фізичні чинники відсутності відриву.

Вважатимемо зображення схилу в умові схематичним і навіть таким, зміна якого з метою забезпечення максимуму швидкості лише вітається.



За швидкості $\upsilon_0 = 2\sqrt{\mu g r}$ тіло, кинуте горизонтально з висоти $h = 5$ м, пролітає вздовж горизонталі відстань:

$$l = 2\sqrt{2\mu h r} = 10 \text{ м}.$$

Як бачимо, це більше від $(R - r) = 5$ м, і пінгвін обов'язково відірветься від схилу.

Якщо пінгвін розганятиметься з центру майданчику (вздовж одного радіусу), то він, рухаючись вздовж параболи, якраз і пролетить по горизонталі відстань $(R - r) = 5$ м.

Отже, оптимальний схил матиме форму такої параболи.

Пінгвін, не відриваючись від неї, тим не менше не буде на неї тиснути, що дасть змогу виконати умову задачі й досягнути максимальної швидкості внизу.

Біля самої берегової лінії парабола може перейти у невелику дугу, що забезпечить її горизонтальне спряження з водою.

Тепер слід розглянути загальніший випадок руху пінгвіна вздовж хорди, довшої від 5 метрів.

Задача 2.

Сталь у дротах використовують завдяки її міцності. Це дає змогу зменшити кількість опор ліній електропередач, збільшивши між ними відстані.

Щоб сталь не ржавіла під дією атмосферної вологи, її вкривають тонким шаром цинку.

Алюміній виконує головну роль дроту, як добрий і досить дешевий провідник струму.

Та алюміній – м'який метал, і тому алюмінієвий дріт навивають на сталевий. Шари навивають у протилежних напрямках, щоб жодна з дротин не "провалилася" між дротинами попереднього шару, а також щоб наступний шар фіксував структуру попереднього шару.

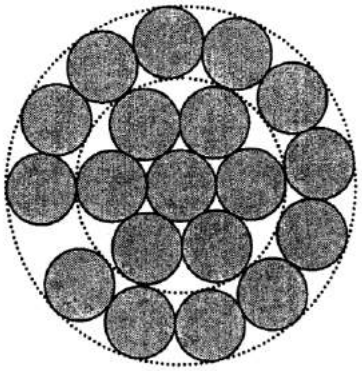
До того ж, така будова кабелю розподіляє механічне навантаження між окремими дротинами, запобігаючи локальному руйнуванню дротин.

Мал. 1

Розгляньмо перпендикулярний переріз дроту, вважаючи, що всі дротини прямі й ні на що їх не навивають (мал. 2).

Як бачимо, якщо перший шар з 6-ти дротин ліг ідеально (ніяких проміжків між дротинами немає), то у другому шарі може бути не більше 12 дротин.

Щоб вони щільно прилягали одна до одної, їх треба трохи повернути. Тоді кожну дротину другого шару навиватимуть на циліндр діаметром $3d$, а її форма нагадуватиме гвинтову лінію.



Мал. 2

Зі світлини в умові задачі справді можна зробити висновок, що другий шар нараховує 12 дротин.

Тоді третій шар за умовою задачі матиме:

$$30 - 12 = 18$$

алюмінієвих дротин.

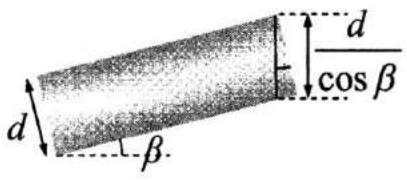
Кількість дротин у шарі можна оцінити, поділивши довжину кола, що проходить крізь центри відповідних дротин на діаметр дротин d.

Для другого шару радіус кола дорівнює $2d$. Тому

$$N_2 \approx \frac{2\pi \cdot 2d}{d} = 4\pi \approx 12{,}57.$$

Між дванадцятьма дротинами залишається вільне місце (мал. 2). Уникнути його, тобто забезпечити щільне прилягання дротин одна до одної, можна шляхом нахилу дротин (навивання).

На мал. 3 зображена верхня дротина, яка утворює з віссю кабелю кут β і має перпендикулярний до цього напрямку еліптичний переріз з великою віссю $\frac{d}{\cos\beta}$.



Мал. 3

Звідси,

$$\cos\beta = \frac{12}{4\pi},$$

відтак

$$\beta = 17{,}3°.$$

Для третього шару (зовнішнього на світлині в умові задачі)

$$N_3 \approx 6\pi \approx 18{,}85,$$

тобто 18 дротин і вільне місце.

Тому для третього шару:

$$\cos\beta = \frac{18}{6\pi},$$

що дає те ж саме значення

$$\beta = 17{,}3°.$$

Для четвертого шару:

$$N_4 = 8\pi \approx 25{,}13.$$

Тому

$$\cos\beta = \frac{25}{8\pi},$$

звідси,

$$\beta = 5{,}9°.$$

Зауважмо, що в разі використання 24 дротин

$$\cos\beta = \frac{24}{8\pi},$$

що дає знайоме значення

$$\beta = 17{,}3°.$$

Це може бути технологічно доцільніше.

Тепер розрахуймо опір $l = 1$км дроту.

Оскільки кут $\beta = 17{,}3°$ достатньо малий, довжина дроту перебільшуватиме довжину кабеля лише у $\frac{1}{\cos\beta} \approx 1{,}047$ раза.

Знехтуймо цим.

Опір однієї дротини буде:

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{4\rho l}{\pi d^2}.$$

Загальний опір $R_{заг}$ паралельного з'єднання 7 сталевих і 30 алюмінієвих дротин:

$$\frac{1}{R_{заг}} = \frac{7\pi d^2}{4\rho_{ст} l} + \frac{30\pi d^2}{4\rho_{ал} l} =$$

$$= \frac{\pi d^2}{4l}\left(\frac{7}{\rho_{ст}} + \frac{30}{\rho_{ал}}\right).$$

Звідси знаходимо:

$$R_{заг} \approx 0{,}27 \text{ Ом}.$$

Або 0,29 Ом за умови врахування збільшення довжини дротин.

Задача 3.

Найфантастичнішими є припущення про тунель і відсутність атмосфери. Інші дані приблизно відповідають параметрам Землі та космічної обсерваторії "Кеплер".

1. Унаслідок згоряння чергової малої порції палива космічної обсерваторії (КО) отримує певний імпульс (отже, й зміну швидкості), пропорційний до маси витраченого палива.

Зміна швидкості $\Delta\upsilon$ однакова в усіх інерціальних системах відліку.

Зміна ж кінетичної енергії

$$\Delta W_k = \frac{m(\upsilon + \Delta\upsilon)^2}{2} - \frac{m\upsilon^2}{2} \approx m\upsilon \cdot \Delta\upsilon$$

тим більша, чим більша швидкість руху.

Отже, найвигіднішим є вмикання двигуна під час максимально швидкого руху (тут немає протиріччя із законом збереження енергії: що більша швидкість, то меншу частину вивільненої енергії згоряння палива отримують гази, що відкидаються реактивним двигуном назад).

Отже, можна запропонувати такий метод старту: КО скинути в тунель і в момент досягнення найбільшої швидкості (у центрі планети) увімкнути двигун на розгін.

Витрата палива прямо пропорційна до зміни швидкості КО.

Підрахуймо потрібні зміни швидкості для обох випадків.

Потенціальна енергія взаємодії КО з планетою на поверхні планети дорівнює:

$$-G\frac{Mm}{R} = -mgR,$$

а в центрі планети ця енергія менша на

$$\frac{mgR}{2},$$

тобто дорівнює

$$-\frac{3mgR}{2}.$$

Цей результат випливає з того, що всередині однорідної планети сила тяжіння пропорційна відстані до її центра.

КО під час падіння до центра планети набуває швидкості:

$$\upsilon_1 = \sqrt{gR}.$$

Після роботи двигуна повна механічна енергія КО має збільшитися до нуля (КО віддаляється від планети на дуже велику відстань, потенціальна енергія зменшується за модулем більше ніж у 200 разів).

Отже, під час старту з поверхні КО матиме швидкість

$$\upsilon_2 = \sqrt{2gR}.$$

Це друга космічна швидкість для цієї планети.

Під час старту із середини тунелю (з центра планети) потрібна швидкість:

$$\upsilon_3 = \sqrt{3gR}.$$

Отже, у першому випадку двигун має змінити швидкість КО на υ_2, а у другому – на $(\upsilon_3 - \upsilon_1)$.

Отже, відношення витрат палива становить:

$$\frac{m_{тунель}}{m_{поверхня}} = \frac{\upsilon_3 - \upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{2}} \approx 0{,}52 .$$

Застосування тунелю дасть змогу зекономити майже 48 % палива.

2. Завдяки меншій швидкості порівняно з планетою КО матиме меншу велику піввісь траєкторії, а відповідно – й менший період обертання. Тому КО "обганятиме" планету й щоразу торкатиметься її орбіти далі від планети.

Скористаймося тим, що велика піввісь траєкторії пов'язана з механічною енергією тіла через співвідношення

$$W = -G\frac{Mm}{2a}.$$

За швидкості

$$\upsilon_0 = \sqrt{G\frac{M}{a_0}} = 30\,\frac{км}{с}$$

КО рухалася б коловою траєкторію радіусом $a_0 =$ 150 млн км.

Зауважимо, що період обертання коловою траєкторією буде:

$$T_0 = \frac{2\pi a_0}{\upsilon_0} \approx 31{,}4 \cdot 10^6 \text{ с}.$$

Як і слід було очікувати, це майже рік.

Отже,

$$W_0 = -\frac{m\upsilon_0^2}{2}.$$

Якщо швидкість КО на відстані a_0 від зорі трохи менша від υ_0 (на $\Delta\upsilon = 10$ м/с), то кінетична й повна механічна енергії менші приблизно на

$$m\,\upsilon_0 \cdot \Delta\upsilon .$$

Отже, відносне збільшення модуля механічної енергії (і, відповідно, зменшення півосі орбіти) становить:

$$\frac{2\Delta\upsilon}{\upsilon_0}.$$

Із третього закону Кеплера випливає, що відносне зменшення періоду обертання дорівнює:

$$\frac{3}{2}\cdot\frac{2\Delta\upsilon}{\upsilon_0} = \frac{3\Delta\upsilon}{\upsilon_0}.$$

Отже, за цей час планета пройде менше від повної довжини колової траєкторії на

$$\frac{3\Delta\upsilon}{\upsilon_0}\cdot 2\pi a_0 = 6\pi a_0\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon_0} = 940\ 000 \text{ км}.$$

Саме на стільки збільшиться відстань між КО і планетою.

Додаток. Щоб довести формулу

$$W = -G\frac{Mm}{2a},$$

розгляньмо точки з найбільшою та найменшою відстанями від зорі (відповідно r_1, r_2). Ці точки лежать на великій осі еліпса.

Отже, швидкість у цих точках перпендикулярна до великої осі.

Скористаймося законами збереження енергії та моменту імпульсу:

$$W = -G\frac{Mm}{r_1} + \frac{m\upsilon_1^2}{2} = -G\frac{Mm}{r_2} + \frac{m\upsilon_2^2}{2},$$

$$L = m\upsilon_1 r_1 = m\upsilon_2 r_2 .$$

Виключивши υ_2 і скоротивши $(r_1 - r_2)$ (випадок кола дуже легкий), отримуємо:

$$G\frac{Mm}{r_1} = \frac{m\upsilon_1^2}{2}\cdot\frac{r_1 + r_2}{r_2},$$

звідси,

$$W = -G\frac{Mm}{r_1 + r_2} = -G\frac{Mm}{2a}.$$

Задача 4.

Загальна втрата тепла з баків (потужність теплових втрат) дорівнює:

$$P = k\cdot(t_1 - t_0) + k\cdot(t_2 - t_0) +$$

$$+ k\cdot(t_3 - t_0) + k\cdot(t_4 - t_0) =$$

$$= k\cdot\left[(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - 4t_{\text{в}}\right],$$

де $t_{\text{в}} = 20$ °C – температура повітря в цеху; k – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність витоку тепла з бака.

Звідси видно, що для зменшення загального витоку тепла з баків треба зменшити "сумарну" температуру баків

$$\Theta = t_1 + t_2 + t_3 + t_4.$$

Погляньмо, чим визначається ця "сумарна" температура і температура реагентів у кожному баці.

Те, що є характеристикою бака і не залежить від під'єднання – це інтенсивність хемічних реакцій усередині бака і пов'язана з нею потужність тепла, що виділяється. Її можна характеризувати температурою Θ, на яку має нагріватися охолоджувальна рідина після проходження крізь бак. У стаціонарному стані рівняння теплового балансу для кожного бака:

$$P = c\frac{\Delta m}{\Delta t}\cdot\Theta.$$

Величину додаткового нагрівання води Θ для кожного бака подано на мал. 1.

Нехай маємо нове з'єднання баків.

Щоб не плутати нові номери зі старими, позначимо "температури нагрівання баків" за допомогою θ_1, θ_2, θ_3 і θ_4.

Тоді температура в першому баці дорівнюватиме:

$$t_1' = t_0 + \theta_1,$$

де t_0 – початкова температура охолоджувальної рідини.

Такою ж буде і температура води на виході з першого бака.

Температура у другому баці буде:

$$t_2' = t_1' + \theta_2 = t_0 + \theta_1 + \theta_2.$$

Температура у третьому баці:

$$t_3' = t_2' + \theta_3 = t_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3.$$

Температура у четвертому баці:

$$t_4' = t_3' + \theta_4 = t_0 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4.$$

А "сумарна" температура баків дорівнює:

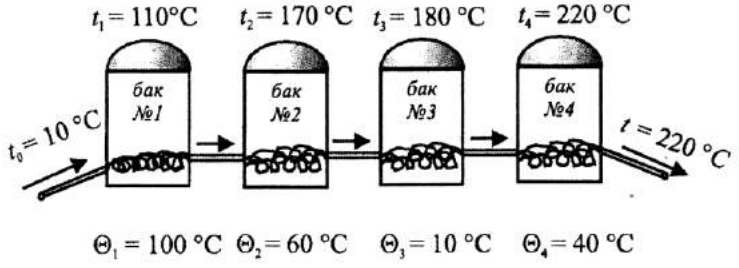
$$\Theta' = t_1' + t_2' + t_3' + t_4' =$$

$$= 4\cdot t_0 + 4\cdot\theta_1 + 3\cdot\theta_2 + 2\cdot\theta_3 + 1\cdot\theta_4.$$

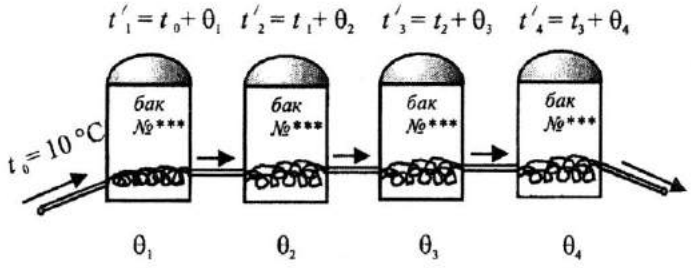
Для початкового під'єднання баків ця величина дорівнювала

$$\Theta = 680\ °\text{C}.$$

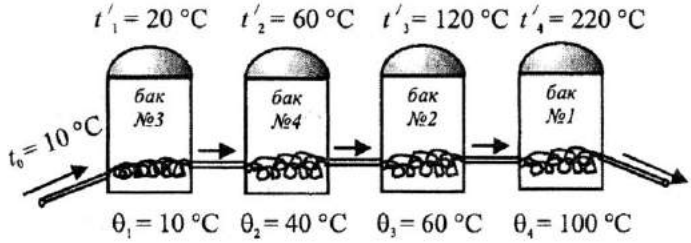
Нашим завданням є постаратися зробити її якомога меншою.



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

Для мінімізації скористаємося тим, щоб сума

$$\Theta' = 4 \cdot t_0 + 4 \cdot \theta_1 + 3 \cdot \theta_2 + 2 \cdot \theta_3 + 1 \cdot \theta_4$$

була якомога меншою.

Біля більшого множника слід ставити якомога меншу величину θ_i.

Тоді отримаємо:

$$\Theta' = 4 \cdot t_0 + 4 \cdot \Theta_3 + 3 \cdot \Theta_4 +$$
$$+ 2 \cdot \Theta_2 + 1 \cdot \Theta_1 = 420\ °C \quad .$$

Розрахуймо тепер, на скільки можна зменшити потужність кондиціонерів.

У першому способі під'єднання потужність тепловиділення дорівнювала:

$$P = k \cdot \left[\left(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \right) - 4t_в \right] = 600 \cdot k \, .$$

За нового під'єднання:

$$P' = k \cdot \left[\left(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \right) - 4t_в \right] = 340 \cdot k \, .$$

Відтак, потужність підігріву повітря цеху зменшилася в 1,76 рази (на 43 %).

Отже, потужність кондиціонерів можна зменшити в 1,76 разів (на 43 %), якщо з'єднати баки так:

перший – бак № 3, другий – бак № 4,

третій – бак № 2, четвертий – бак № 1.

Задача 5.

Сформулюємо головний принцип, за допомогою якого аналізуватимемо умову запропонованого завдання.

Зображення з'єднувальних проводів на електричних схемах умовне: їхню форму і довжину можемо змінювати довільно, а точки під'єднання можемо зсувати уздовж сполучних проводів.

Виходячи з цього принципу, змістимо точки під'єднання до "вісімки" опорів R_6, R_3, R_7, а далі "розкрутимо" "вісімку" (див. мал.).

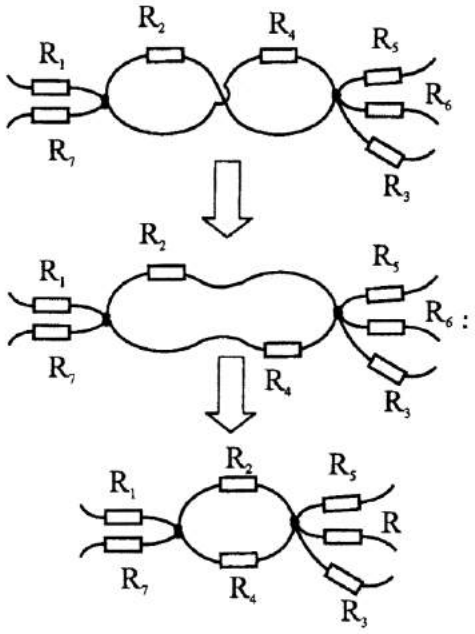
Тепер видно, що у зображеній схемі опори R_2 і R_4 під'єднано паралельно.

Тому у вихідній схемі опори R_2 і R_4 і виконували роль одного опору з номіналом:

$$R_{заг} = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} = \frac{4}{3} \text{ Ом} \, .$$

Після того, як опір перегорів, для відновлення працездатності схеми досить замінити опір одним опором з номіналом

$$R_x = \frac{4}{3} \text{ Ом} \, .$$



11 клас

Задача 1.

Якби поле було однорідним, електрон обертався б довкола силових ліній зі швидкістю υ_0.

Радіус орбіти знаходимо, прирівнюючи відцентрову силу та силу Лоренца:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{r_0} = e\upsilon_0 B_0,$$

звідси

$$r_0 = \frac{m\upsilon_0}{eB_0}. \qquad (1)$$

Період обертання:

$$T = \frac{2\pi r}{\upsilon_0} = \frac{2\pi m}{eB_0}. \qquad (2)$$

Неоднорідність магнетного поля в площині обертання приведе до того, що радіус обертання змінюватиметься вздовж траєкторії електрона.

Щоб оцінити вплив цього ефекту, вважатимемо, що поле в площині $y = 0$ змінюється стрибком від величини

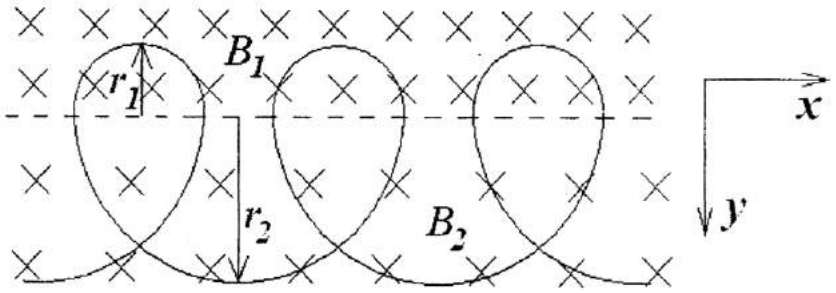
$$B_0\left(1 - \frac{r_0}{L}\right) \equiv B_0 - \Delta B$$

до величини

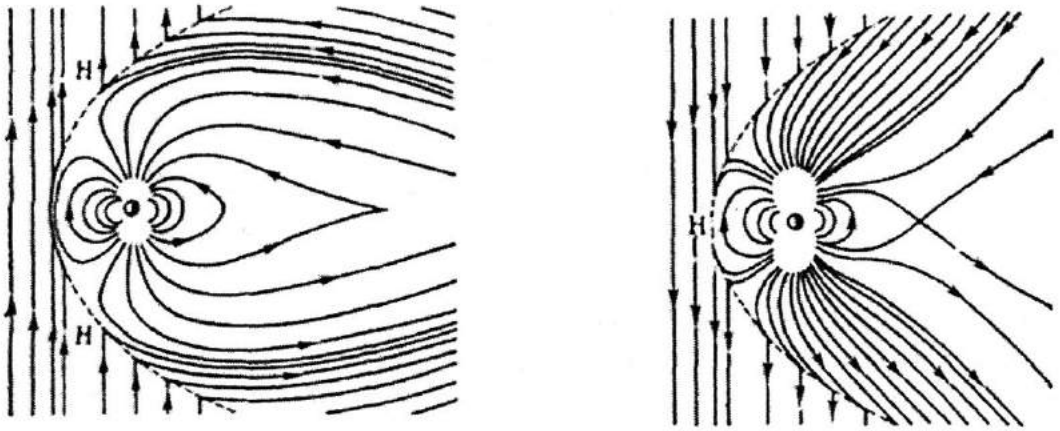
$$B_0 + \Delta B.$$

У цьому випадку траєкторія електрона складається з двох півкіл різних радіусів r_1 та r_2 і виявляється незамкненою. У результаті електрон набуває постійної швидкості в напрямку x:

$$V = \frac{r_1 - r_2}{T}. \qquad (3)$$



Модельна траєкторія зарядженої частинки в поперечно-неоднорідному магнетному полі



а *б*

Структура магнетного поля магнетосфери Землі (меридіональний переріз) у північному (а) та південному (б) напрямках міжпланетного магнетного поля

Радіуси $r_{1,2}$ оцінюємо за формулою (1):

$$r_{1,2} = \frac{m\upsilon_0}{e\left(B_0 \mp \Delta B\right)} = \frac{m\upsilon_0}{eB_0\left(1 \mp \Delta B/B_0\right)} \approx$$

$$\approx r_0\left(1 \pm \frac{\Delta B}{B_0}\right) = r_0\left(1 \pm \frac{r_0}{L}\right). \qquad (4)$$

Тоді, підставивши вираз (4) у (3), маємо, опускаючи в оцінці, коефіцієнт порядку одиниці:

$$V = \frac{2r_0^2}{LT} = \frac{m^2\upsilon_0^2 eB_0}{\pi e^2 B_0^2 Lm} \sim \frac{m\upsilon_0^2}{eB_0 L}. \qquad (5)$$

Точний розв'язок відрізняється від формули (5) числовим коефіцієнтом порядку одиниці. Швидкість, задана формулою (5), відома як швидкість градієнтного дрейфу.

Слід зазначити, що магнетне поле, визначене в умові задачі, реалізувати у вакуумі неможливо. Зокрема, в моделі зі стрибкоподібною зміною поля, використаною в поданому вище розв'язку, для створення стрибка напруженості в площині $y = 0$ в напрямку x має протікати поверхневий струм.

У реальності за відсутності струмів зміна магнетної індукції в напрямку, перпендикулярному до магнетних силових ліній, супроводжується їхнім викривленням і, відповідно, зміною віддалі між ними.

Але зміна віддалі між сусідніми лініями магнетного поля приводить до зовсім іншого ефекту – за згущення ліній поля зростає поперечна щодо поля компонента швидкості електронів, а поздовжня компонента в силу закону збереження енергії тоді зменшується.

У результаті за певних умов заряджена частинка може відбитися від згущення магнетних силових ліній – так званого магнетного дзеркала.

Градієнтний дрейф і виникнення магнетного дзеркала, взагалі кажучи, не пов'язані безпосередньо між собою, і їх можна розглядати окремо.

Описані ефекти спостерігаються, зокрема, в магнетосфері Землі, де магнетне поле на помірних віддалях нагадує магнетний диполь.

Заряджені частинки рухаються вздовж магнетних силових ліній, одночасно обертаючись довкола них із циклотронною частотою.

Зменшення магнетного поля з висотою породжує градієнтний дрейф у широтному напрямку (вздовж паралелей), а згущення силових ліній біля магнетних полюсів – відбиття частини заряджених частинок від цих ділянок.

Задача 2.

Відстань між мурахою та крихою змінюється внаслідок двох "конкурувальних" між собою явищ – руху мурахи поверхнею кулі в напрямку крихи та ріномірного розширення кулі.

Знайдімо спочатку залежність радіусу R кулі від часу.

Об'єм кулі змінюється за умовою:

$$\frac{4\pi}{3}R^3 = \frac{4\pi}{3}R_0^3 + ut \;\rightarrow\; R(t) = \sqrt[3]{R_0^3 + \frac{3ut}{4\pi}}\,.$$

Задачу зручно розв'язувати, досліджуючи, як змінюється кут між радіус-векторами мурахи та крихти, де початок радіус-вектора співпадає з центром кулі.

У момент часу t_0, який вважатимемо початковим ($t_0 = 0$), кут між мурахою та їжею:

$$\varphi_0 = \frac{L}{2\pi R_0}\,.$$

Кожен момент часу цей кут зменшується внаслідок руху мурахи в напрямку крихти з шуканою швидкістю υ:

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{\upsilon}{2\pi R(t)}\,. \qquad (1)$$

Мураха досягне мети в той момент часу t, коли кут між нею і крихтою дорівнюватиме нулеві, тобто

$$\varphi(t) = 0\,.$$

Проінтегруймо вираз (1) від початкового кута φ_0 до нуля:

$$\int\limits_{\varphi(t_0)}^{\varphi(t)} d\varphi = -\int\limits_{t_0}^{t} \frac{\vartheta}{2\pi}\frac{dt'}{R(t')},$$

$$\int\limits_{\varphi(t_0)}^{\varphi(t)} d\varphi = \varphi(t) - \varphi(t_0) = 0 - \varphi_0 = -\frac{L}{2\pi R_0},$$

$$\int\limits_{t_0}^{t} \frac{\vartheta}{2\pi}\frac{dt'}{R(t')} = \frac{\vartheta}{2\pi}\int\limits_{0}^{t} \frac{dt'}{\left(R_0^3 + \frac{3ut'}{4\pi}\right)^{1/3}} =$$

$$= \left[\frac{\vartheta}{u}\left(R_0^3 + \frac{3ut'}{4\pi}\right)^{2/3} - \frac{\vartheta}{u}R_0^2\right].$$

Отже,

$$\frac{L}{2\pi R_0} = \frac{\vartheta}{u}R_0^3\left[\left(1 + \frac{ut}{\left(\frac{4\pi}{3}R_0^3\right)}\right)^{2/3} - 1\right].$$

Час, потрібний мурасі, щоб добігти до їжі:

$$t = \frac{4\pi R_0^3}{3u}\left(\left(1 + \frac{Lu}{2\pi\upsilon R_0^3}\right)^{3/2} - 1\right).$$

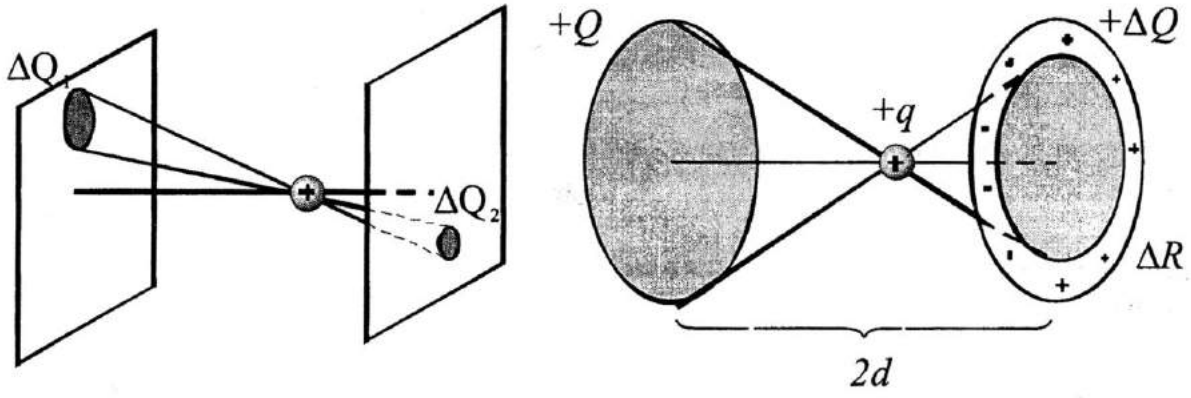
знаходимо з умови $t > \tau$.

Задача 3.

1. Положення рівноваги намистини міститься посередині між пластинами. Саме в цій точці сили, з якими діють на намистину пластини, компенсують одна одну.

2. Під час зміщення намистини з цієї точки вбік буде виникати повертальна сила, оскільки під час зміщення намистини в напрямку однієї з пластин сила відштовхування від цієї пластини зросте, а від протилежної – зменшиться.

3. Знайдімо величину повертальної сили під час зміщення намистини на відстань x ($x \ll d$) від положення рівноваги.



а *б*

Мал. 1

Якби пластини були нескінченними, тоді де б не була намистина між ними, сили, з якими пластини діяли б на неї, взаємно компенсувалися (мал. 1, *а*).

Це відбувається, тому що для будь-якого заряду ΔQ_1 на одній пластині завжди знайдеться відповідний йому заряд ΔQ_2 на другій пластині дія якого повністю компенсує дію першого заряду.

Якщо пластини скінченні, то компенсація дії пластин на зміщену від центру намистину буде неповною.

Нескомпенсованою залишається дія кільця на зовнішньому краю однієї з пластин (мал. 1, *б*). Воно й створює повертальну силу.

Зайдімо товщину цього кільця та його заряд (мал. 2, *а*).

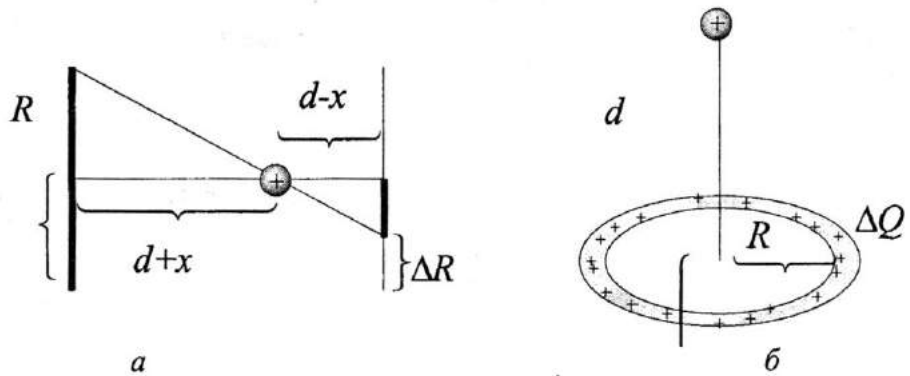
$$\Delta R = R - \frac{d-x}{d+x}R = \frac{2x}{d+x}\cdot R \approx \frac{2x}{d}\cdot R$$

та

$$\Delta Q = \frac{Q}{S}\cdot \Delta S = \frac{Q}{\pi R^2}\cdot 2\pi R\Delta R = 4\frac{x}{d}\cdot Q.$$

Повертальна сила, що діє на намистину, дорівнює:

$$F = qE = k\frac{q\Delta Q\cdot d}{\left(d^2+R^2\right)^{3/2}} = 4k\cdot\frac{qQ}{\left(d^2+R^2\right)^{3/2}}\cdot x,$$



а *б*

Мал. 2

де $E = k\dfrac{\Delta Q \cdot d}{\left(d^2 + R^2\right)^{3/2}}$ – напруженість електричного поля кільця на його осі (мал. 2, *б*); k – стала в законі Кулона.

Запишімо другий закон Ньютона для намистинки:

$$ma_x = -4k \cdot \frac{qQ}{\left(d^2 + R^2\right)^{3/2}} \cdot x .$$

Розв'язком цього рівняння є гармонічні коливання з частотою ω,

$$\omega^2 = 4k \cdot \frac{qQ}{m \cdot \left(d^2 + R^2\right)^{3/3}} .$$

Період коливань:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m \cdot \left(d^2 + R^2\right)^{3/2}}{4k \cdot qQ}},$$

або

$$T = \pi\sqrt{\frac{m \cdot \left(d^2 + R^2\right)^{3/2}}{k \cdot qQ}} .$$

Задача 4.

Позначмо $t_1 = 4$ хв, $t_2 = 2t_1$; T – різниця температур води та довколишнього повітря.

Під час нагрівання виконується рівняння теплового балансу:

$$cm\frac{dT}{dt} = P - kT .$$

Різницю максимально можливої температури (якщо відволіктися від кипіння) та миттєвої температури позначимо:

$$z = \frac{P}{k} - T .$$

Тоді рівняння теплового балансу набуває вигляду:

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{k}{cm}z ,$$

тобто змінна z має експоненціальну залежність:

$$z = z_0 e^{-\frac{k}{cm}t} .$$

Звідси,

$$T = \frac{P}{k}\left(1 - e^{-\frac{k}{cm}t}\right).$$

Застосувавши цю формулу двічі, отримаємо:

$$t = t_1 \ln\frac{T_{\max}}{T},$$

і, відповідно,

$$\frac{k}{cm}t_1 = 0{,}995 \approx 1 .$$

Звідси,

$$T_{\max} = \frac{P_1}{k}\left(1 - \frac{1}{e}\right)$$

та

$$k = \frac{P_1}{T}\left(1 - \frac{1}{e}\right).$$

а). Визначмо масу води в чайнику.

З попередніх рівнянь маємо:

$$m = \frac{P_1 t_1}{cT}\left(1 - \frac{1}{e}\right) \approx 0{,}9 \text{ кг} .$$

Якщо не округлювати $(0{,}995 \approx 1)$, точна формула має вигляд:

$$m = -\frac{P_1\left(2P_2 - P_1\right)t_1}{cP_2 T_{\max} \cdot \ln\left(\dfrac{P_1}{P_2} - 1\right)} .$$

маса води в чайнику:

$$m \approx 0{,}905 \text{ кг}.$$

б). Визначмо час остигання.

Після вимикання чайника:

$$cm\frac{dT}{dt} = -kT.$$

Звідси,

$$T = T_{\max} e^{-\frac{k}{cm}t} = T_{\max} e^{-\frac{t}{t_1}}$$

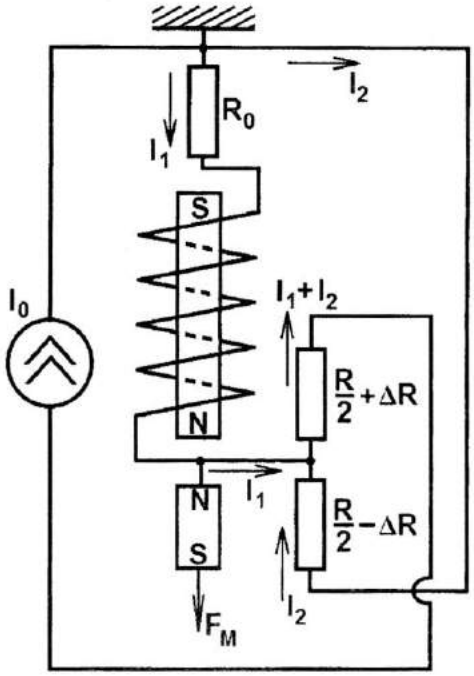
та

$$t = t_1 \ln\frac{T_{\max}}{T}.$$

Для остигання від $T_{\max}\,(80\ ^\circ\text{C})$ до $T\,(75\ ^\circ\text{C})$ потрібно 15,6 с.

Задача 5

Еквівалентна схема за певного положення рухомого електроду матиме вигляд (мал. 1):



Мал. 1

За законом Кірхгофа для струмів маємо:

$$I_0 = I_1 + I_2. \qquad (1)$$

Падіння напруги між точкою підвісу та рухомим електродом буде однаковим завдяки струмам у обох гілках, тобто:

$$U = I_1 R_0 = I_2\left(\frac{R}{2} - \Delta R\right). \qquad (2)$$

Підставивши вираз (1) в (2), отримаємо:

$$I_1 R_0 = (I_0 - I_1)\left(\frac{R}{2} - \Delta R\right). \qquad (3)$$

Тепер знайдімо ΔR.

За умовою

$$\Delta R = \beta x.$$

Також зсув x можна визначити з умови рівності сили пружності та сили відштовхування між магнетами:

$$F_M = F_k,$$

$$\alpha I_1 = kx. \qquad (4)$$

Звідси,

$$\Delta R = \beta x = \frac{\alpha\beta}{k} I_1. \qquad (5)$$

Підставивши вираз (5) в (3), отримаємо:

$$I_1 R_0 = (I_0 - I_1)\left(\frac{R}{2} - \Delta R\right) =$$

$$= (I_0 - I_1)\left(\frac{R}{2} - \frac{\alpha\beta}{k} I_1\right), \qquad (6)$$

Звідси для струму I_1 одержимо квадратне рівняння:

$$\frac{\alpha\beta}{k}I_1^2-\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\right)I_1+I_0\frac{R}{2}=0, \quad (7)$$

яке має розв'язки:

$$I_1=\frac{k}{2\alpha\beta}\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\pm R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\pm\right.$$

$$\left.\pm\sqrt{\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\right)^2-\frac{2R\alpha\beta}{k}I_0}\right). \quad (8)$$

Якщо обрати знак "+", то спрямувавши до нескінченності, цей струм необмежено зростатиме, що неможливо.

Отже, слід обрати знак "–".

Відтак, струм через пружину/котушку буде:

$$I_1=\frac{k}{2\alpha\beta}\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0-\right.$$

$$\left.\sqrt{\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\right)^2-\frac{2R\alpha\beta}{k}I_0}\right). \quad (9)$$

Оскільки цей струм сталий, він мусить мати дійсне значення, тобто вираз під коренем має бути додатним.

$$\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\right)^2\geq\frac{2R\alpha\beta}{k}I_0, \quad (10)$$

Із (10) можна отримати умову на струм I_0, під час виконання якої буде справедливим результат (9).

Позначмо

$$\xi=\sqrt{I_0}.$$

Тоді вираз під коренем у (9) перетвориться в нуль, якщо справедливе рівняння:

$$R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}\xi^2-\sqrt{\frac{2R\alpha\beta}{k}}\xi=0. \quad (11)$$

Рівняння (11) має корені:

$$\xi=\frac{k}{2\alpha\beta}\left(\sqrt{\frac{2R\alpha\beta}{k}}\pm\sqrt{\frac{2R\alpha\beta}{k}-4\frac{\alpha\beta}{k}\left(R_0+\frac{R}{2}\right)},\right.$$

або ж

$$\xi=\frac{k}{2\alpha\beta}\sqrt{\frac{2R\alpha\beta}{k}}\left(1\pm\sqrt{1-2\left(\frac{R_0}{R}+\frac{1}{2}\right)}\right). \quad (12)$$

Очевидно, що вираз під коренем у (12) завжди від'ємний, тобто за жодного дійсного значення струму вираз під коренем у (9) на нуль не обертається.

Водночас, очевидно, що за дуже малих I_0 цей підкореневий вираз додатний.

Відтак, вираз (9) дає дійсне значення струму через котушку за будь-яких повних струмів I_0.

Отже,

$$I_1=\frac{k}{2\alpha\beta}\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0-\right.$$

$$\left.\sqrt{\left(R_0+\frac{R}{2}+\frac{\alpha\beta}{k}I_0\right)^2-\frac{2R\alpha\beta}{k}I_0}\right)$$

за довільного значення I_0.

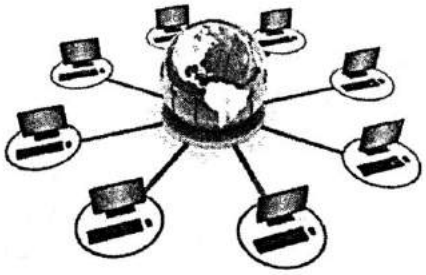
ВЕЛИКІ ДАНІ ТА eSCIENCE – НОВІТНЯ НАУКА ЧИ АНТИУТОПІЯ?

Роман Шопа,
кандидат фізико-математичних наук

"Великий брат стежить за тобою!" (англ. – Big brother is watching you) – відомий вислів, що означає тотальне стеження за громадянами з боку спецслужб. Сьогодні з огляду на все більшу глобалізацію світу, епоху соцмереж, систем GPS і 4G-Інтернету, говорити про всесвітню змову стало мейнстрімом. Маскультура продукує чимало продукції на основі і класичних науково-фантастичних творів "1984" Джорджа Орвелла чи "Прекрасний новий світ" Олдоса Гакслі, і давніх легенд і міфів, від змови масонів чи ілюмінатів (книжки Дена Брауна, цикл комп'ютерних ігор "Deus Ex") до контролю Землі прибульцями (серіал "Секретні матеріали", ігри "Half-Life"). Реальність додає перцю, оскільки є чимало фактів стеження за громадянами тоталітарних країн або ж прослуховування найвищих посадових осіб збоку спецслужб.

Однак зважмо на те, які ж ресурси потрібні, аби стежити за мільйонами чи мільярдами людей, ресурсів апаратних і людських. Одиниці підозрюваний вимагає чимало часу, залучає різних людей. А як же ж з мешканцями, скажімо, невеликої держави? Навіть в умовах війни чи в роботі секретної служби, коли ігнорують правами людини, відшукати потенційного "терориста" у загальній масі не так просто. Мільйони доларів витрачають на дослідження, експертизи та симуляції засобів безпеки, задіюючи фахівців різних галузей. З часом накопичується великий обсяг інформації, яка ще й постійно оновлюється та нагромаджується з шаленою швидкістю. Її потрібно завантажити, відсортувати, проаналізувати і десь зберігати. Одержання та опрацювання великих обсягів даних стає чи не найактуальнішою проблемою, яка потребує додаткових ресурсів, і людських, і матеріально-фінансових.

Термін **"Великі дані"** (англ. **Big Data**), що асоціюється з інформаційними технологіями, поширений передусім у комерційній сфері. За базами даних, що містять інформацію про клієнтів, що вони купують, чим цікавляться, що шукають в Інтернеті, компанії проводять статистичні дослідження, аби "вгадати", що, коли і в якій кількості клієнт купить наступного разу. Крім реклами, формують рекомендації на підставі цієї статистики, моделюючи бажання покупця з разючою точністю.



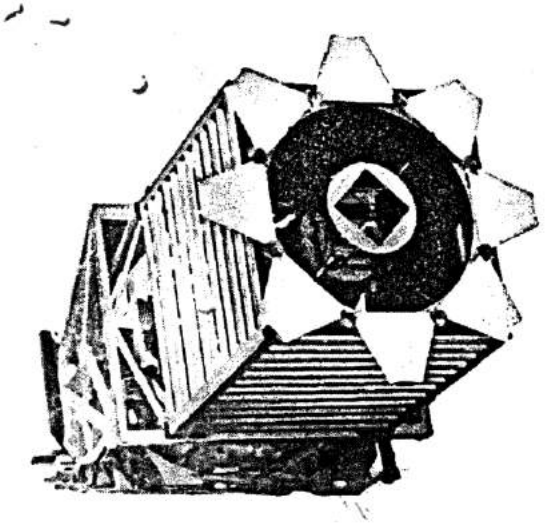
Ґрід-обчислення проводять, залучаючи машини з усіх куточків Землі

Проте сама концепція "великих даних" прийшла з наукової сфери, складних комп'ютерних обчислень. Наукомісткі розрахунки часто потребують опрацювання великих обсягів інформації. Потужніша техніка не завжди допомагає, навіть суперкомп'ютери високої продуктивності (англ. High Performance Computing). Популярним рішенням було конструювання кластерів, коли до обчислень долучали кілька машин, не обов'язково однакових, проте локалізованих в одному місці (наприклад, у кампусі університету). Сьогодні актуальні розподілені, "грід-обчислення" (англ. Grid computing), де мережею є Інтернет, а ресурси можуть бути розкидані по всьому світу.

З іншого боку, "великі дані" потребують нових методів роботи з ними, коли стандартні вже не працюють. Аби вміти аналізувати гігантські несортовані обсяги інформації, треба вміти ефективно й швидко їх обробляти. Так виникла нова галузь комп'ютерних наук – **e-Science** (або **eScience**).

У 2000 році сталася знакова подія в астрономії – запуск наймасштабнішого в історії дослідження зоряного неба, названого "Слоанівським цифровим оглядом" (англ. Sloan Digital Sky Survey, SDSS). За допомогою 2,5-метрового оптичного телескопу обсерваторії Апач-Пойнт (Apache Point Observatory) в штаті Нью-Мексико (США), розпочався збір даних зображень небесних тіл та їхніх спектральних характеристик, зокрема червоного зміщення галактик. Уже покрито понад 35 % зоряного неба з фотометричною інформацією про півмільярда об'єктів, та ще й у вільному доступі (www.sdss.org). Лише за 7 років досліджень було зібрано 80 Тб (терабайт) зображень формату RAW (без стискання даних).

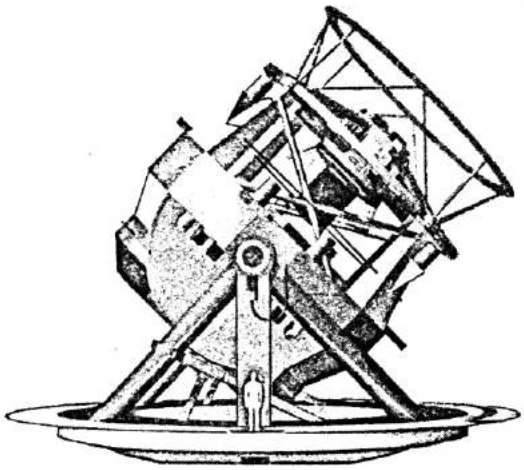
Варто зазначити, однак, що якісні світлини зоряного неба не відображають динаміки Всесвіту, який постійно змінюється. Галактики об'єднуються, зіштовхуються між собою, зорі гаснуть і народжуються, вибухають яскравими барвами... Якщо зіставити світлини неба, зняті щоденно з однієї точки упродовж року, можна побачити чимало цікавого, наприклад, численні вибухи наднових.



Телескоп SDSS

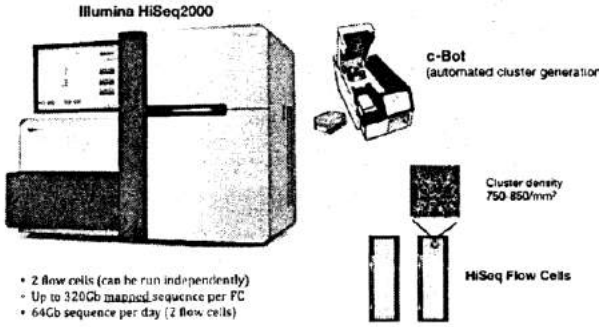
Серед Анд, на півночі Чилі, на піку Ель-Пеньйон (El Pecyn) гори Серо-Пачон (Cerro Pachón), на висоті 2 682 м над рівнем моря будують найсучасніший ширококутовий телескоп-рефлектор з 8,4-метровим дзеркалом та 3,2-гігапіксельною цифровою камерою, з дуже тривіальною назвою **"Великий оглядовий телескоп"** (англ. **Large Synoptic Survey Telescope**), або скорочено **LSST**. Цей телескоп лише за добу продукуватиме 40 Тб даних, а загалом за 10-річний цикл досліджень планують зібрати понад 100 Пб (петабайт = 1024 терабайт). Один із керівників проекту, професор Ендрю Конноллі (Andrew Connolly) з університету штату Вашингтон у лекції на конференції TED розповідає про принципові переваги телескопу. Можна буде досліджувати комплексно тисячі, мільйони астероїдів Сонячної системи в русі, а це ключ для розуміння природи її формування, про те, як на Землі з'явилась вода тощо. Можна буде також відкрити нові об'єкти за орбітою Плутона, такі

як планети з видовженою еліптичною орбітою. Інша річ – вивчення наднових зір або скупчень галактик. Що далі від Землі вибухає наднова, то сильніше зменшується її яскравість. Уже зараз на підставі спостережень за лише 42-ма надновими за допомогою космічного телескопу "Хаббл" (Hubble Space Telescope) отримано підтвердження теорії про існування так званої темної матерії. Нове покоління телескопів, таких як LSST чи Pan-STARRS (http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu) суттєво поглибить ці знання.



Одна світлина телескопу LSST рівнозначна трьом тисячам світлин телескопу "Хаббл", а для її перегляду в повному розділенні потрібно 1500 телеекранів формату Full HD

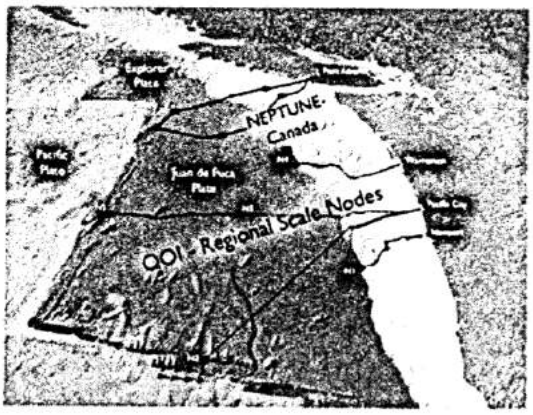
У науках про життя все частіше застосовують прилади, відомі як "секвенатори". Наприклад, **ДНК-секвенатор** – це пристрій, за допомогою якого виконується автоматизоване визначення послідовності нуклеотидів у ланцюгу ДНК – секвенсування. Найпотужніший нині секвенатор Illumina HiSeq 2000 (www.illumina.com) настільки простий у користуванні (підготовка зразків займає лише дві хвилини), що продукує майже 1 Тб даних ДНК-коду щодня. А серйозні лабораторії мають 25–100 таких машин.



Секвенатор Illumina HiSeq 2000

Ще один яскравий приклад даних великого обсягу – проект під назвою **Ocean Observatories Initiative (OOI)**, що перекладається як "ініціатива океанічних обсерваторій" (http://oceanobservatories.org). Він стосується і науки, і технологій, і навчання в сфері океанографії. Проект охоплює широку мережу обсерваторій та дослідницьких станцій у Тихому та Атлантичному океанах і містить дані досліджень у дуже різних сферах: дослідження фізичних, хемічних, геологічних і біологічних властивостей океану, морської флори та навіть атмосфери. Це формує всебічну системну картину глобального масштабу, безцінну для океанографів. Один зі складників проекту – мережа Regional Scale Nodes (RSN) містить тисячі інструментів для підводного дослідження (навіть відеокамери для знімання у реальному часі), об'єднаних оптоволоконною мережею протяжністю понад тисячу кілометрів.

Інші відомі океанічні мережі – IOOS (www.ioos.noaa.gov) та CMOP (www.stccmop.org).



Оптоволокно Regional Scale Nodes простягається на тисячу кілометрів під водою

То що ж таке eScience?

З одного боку – це глобальні фундаментальні дослідження. Адже вони залучають щоразу більше ресурсів – не лише фінансових, а й роботи цілих наукових шкіл. Загальновідомий ЦЕРН, Європейська організація з ядерних досліджень (CERN), утворений великими групами фахівців, що керуються не просто лабораторіями, а й університетами та урядами країн. Крім ядерної фізики, астрономії, океанології та генетики, про що вже згадано, термін eScience також асоціюють із новими напрямами в медицині, комп'ютерних науках, нанотехнологіях, науках про матерію та у молекулярній динаміці.

З іншого боку, це взагалі не напрямок, а **метод**. І в цьому є сенс, бо зазвичай таким терміном називають будь-які наукові дослідження, які використовують розподілені обчислення в мережах великих масштабів для опрацювання та аналізу даних гігантських об'ємів. Однак поняття "великий" відносне і плинне в часі, тому дуже часто eScience є узагальнюючим терміном, що охоплює будь-які цифрові обчислення і/або опрацювання даних. До того ж, все вказує на те, що незабаром будь-яка наука потребуватиме таких засобів.

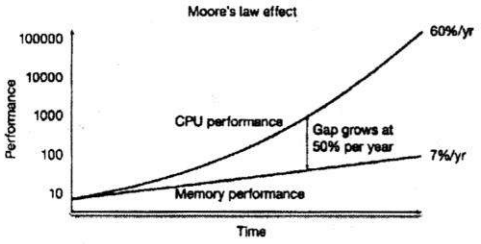
Спробуймо подивитись на науку історично. Упродовж тисячі років дослідження були **емпіричними**. Учені спостерігали за природою, намагались відтворювати окремі явища задля перевірки простих гіпотез. Сотні років тому з'явилась **теоретична** наука, коли гіпотеза уже передує спостереженню, коли одні теоретичні моделі формують потребу в конкретних експериментах, а інші допомагають інтерпретувати результати вимірів. Упродовж останніх п'ятдесяти років **комп'ютеризовані** обчислення створили принципово нові методи досліджень, даючи змогу моделювати явища, недоступні для репродукції в лабораторіях, або ж обчислювати теоретичні моделі, надто складні для аналітичного розв'язку.

Однак за останнє десятиріччя з'явився *четвертий тип наукового дослідження*, що полягає в отриманні масивного обсягу даних вимірювань або емуляцій, аби згодом вивчати його завдяки новим алгоритмам та апаратним засобам. "Великі дані" вимагають автоматизованого або напівавтоматизованого аналізу, бо неможливо його проводити безпосередньо, "вручну".

Отже, eScience є *новим типом наукового дослідження, який доповнює три існуючі, що сформувались історично: емпіричний, теоретичний і комп'ютерний.*

Самі вимірювання, отримання експериментальних даних, перестали бути самоціллю. Нові технології фактично спростили цю задачу до проблеми пошуку фінансування (на жаль, найгострішу для українських науковців). Однак робота з масивними даними та їхній аналіз – геть інша тема для дискусії, де далеко не все так просто. Якщо традиційні вимірювання проводили переважно з метою

перевірки конкретної теорії, то eScience оперує і великими даними, і численними гіпотезами. Дослідження вже не фокусуються на одній теоретичній моделі, а на цілому конгломераті теорій. Саме так працює наука в ЦЕРН-івських експериментах .

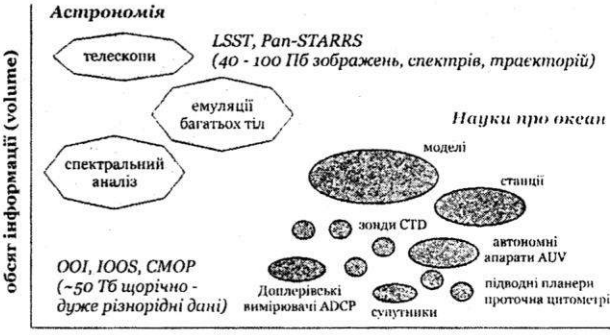


Швидкодія сучасних елементів пам'яті все більше відстає від швидкодії процесорів

"Великі дані" (або Big data) породжують чимало проблем, на які можна було раніше не зважати. Ми знаємо, як швидко зростає ємність елементів пам'яті, зокрема жорстких дисків та флеш-накопичувачів. Однак куди повільніше еволюціонує швидкість зчитування. Як сторонній ефект закону Мура сьогодні маємо швидкі процесори та куди повільнішу пам'ять. З іншого боку, дані досліджень можуть бути не такі великі за обсягом, як за різнорідністю. Результати геологічних досліджень, океану або атмосфери, від різних вимірювальних приладів, можуть мати різні формати, несумісні між собою. До того ж, часто аналізують дані, що отримали люди у різних лабораторіях у різні роки. Питання довіри до них теж актуальне.

Англійською мовою кажуть про три "V", які характеризують "великі дані": **об'єм (volume), різноманітність (variety), швидкість (velocity)**. Деколи додають ще четверту "V" – **достовірність (veracity)**. Фактично вони й формують означення терміну. Тому Big data – це не просто набір даних великого об'єму, бо "великий" – це завжди відносно. Майкл Франклін (Michael Franklin), фахівець із комп'ютерних наук, професор Каліфорнійського університету в Берклі (University of California, Berkeley), дає дуже влучне означення:

"Великі дані – це будь-які дані, якими затратно керувати та значення яких важко отримувати".



Різноманітність і об'єм даних – характеристики Big data

В астрономії більше даних великого обсягу, але вони однотипні, тоді як у науках про океан джерел дуже багато, хоча об'єми відносно невеликі. Проте в обох випадках – це "великі дані".

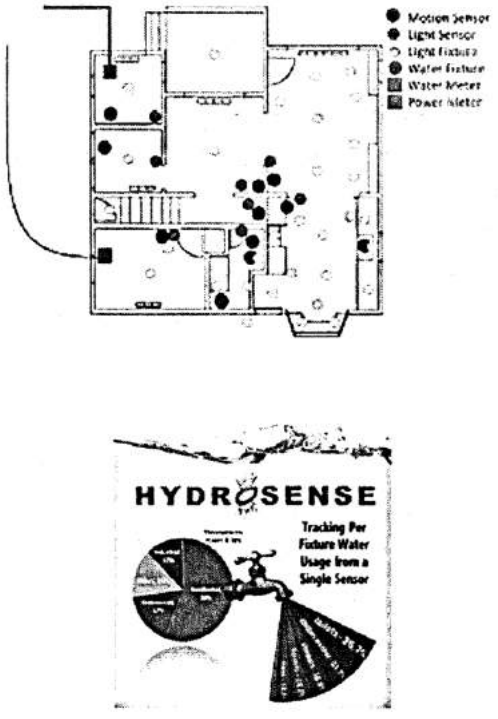
Фундаментальна наука сьогодення залучає гігантські ресурси для вивчення нових явищ та перевірки нових теорій, оперуючи колосальними обсягами інформації. Однак ресурси не безмежні, до того ж фінансування нових проектів не кожен уряд захоче підтримувати. І це стосується і найскромнішого ґранту молодого українського науковця, і глобальних конгломератів, таких як ЦЕРН. Зауважмо, що

"Великі дані" – це будь-які дані, якими затратно керувати та значення яких важко отримувати"

Майкл Франклін,
Університет Каліфорнії (Берклі, США)

складність опрацювання "великих даних" наразі подовжує час життя, тривалість досліджень. Науковці з лабораторії люмінесценції Львівського національного університету імені Івана Франка зазначали недавно, що даних, зібраних ними під час вимірів на німецькому електронному синхротроні DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron), вистачить на 5 років аналізу. Та з іншого боку, росте і розвивається ціла галузь, присвячена "великим даним", науці про дані (Data science), eScience, тому можна не сумніватись, що це сповільнення – ненадовго.

Окрім фундаментальної науки, існує чимало експериментів із застосування "великих даних" у прикладних цілях. Наприклад, автомобілі пропонують обладнати "чорними скриньками" за аналогією з літаками. Противники кажуть про порушення приватного життя та доступ до персональних даних.



"Розумні" сенсори допомагають зберігати ресурси, вивчаючи поведінку людини

Розвивають нові "розумні" технології переважно з використанням машинного навчання (Machine learning), що прогнозують всі ваші кроки чи навіть бажання. Вони можуть спрогнозувати ваш маршрут на підставі історій переміщень (зчитану за допомогою системи GPS), або, наприклад, допомагають ефективно користуватись комунальними послугами, коли різноманітні сенсори збирають інформацію про електроенергію, воду та газ, та вмикають і вимикають їх у потрібний час (HydroSense, ElectriSense, GasSense).

Повертаючись до ідеї тотального стеження за громадянами, можна помітити, що збір даних йде безперервно – з веб-додатків, смартфонів, систем навігації, а тепер ще й безлічі маленьких сенсорів. Проте всі ці дані є "великими" у всіх вимірах – об'єму, різноманітності, швидкості доступу і достовірності теж. Тому дуже важко уявити собі механізм "стеження", бо він мав би не поступатись за масштабом наукоємним проектам із вивчення елементарних частинок, океану, Всесвіту, генетики. Така система стеження була б найвіртуознішою реалізацією нового типу дослідження eScience та "великих даних" водночас.

Чи можлива вона сьогодні? Якщо так – то яка її ефективність? Хтозна...

Джерела та корисні посилання:

https://class.coursera.org/datasci-001/lecture/19
https://class.coursera.org/datasci-001/lecture/21
http://datapub.cdlib.org/2012/12/04/a-brief-thought-what-is-e-science/
http://www.scilogs.com/scientific_and_medical_libraries/what-is-e-science-and-how-should-it-be-managed/
https://youtu.be/d2AxXv_6UTQ
http://www.dosits.org/people/researchphysics/makelongtermmeasurements/
http://www.ted.com/talks/andrew_connolly_what_s_the_next_window_into_our_universe

АКТОРКА–ВИНАХІДНИЦЯ

Геді Ламар (Hedy Lamarr), австрійсько-американська акторка та винахідниця, народилася 9 листопада 1914 року у Відні (Австрія). Вона була донькою Гертруди Ліхтвіц із Будапешта та банкіра зі Львова Еміля Кислера. Красива, обдарована, успішна акторка рано почала зніматися у кіно. Водночас була інтелектуально розвиненою з логічним мисленням.

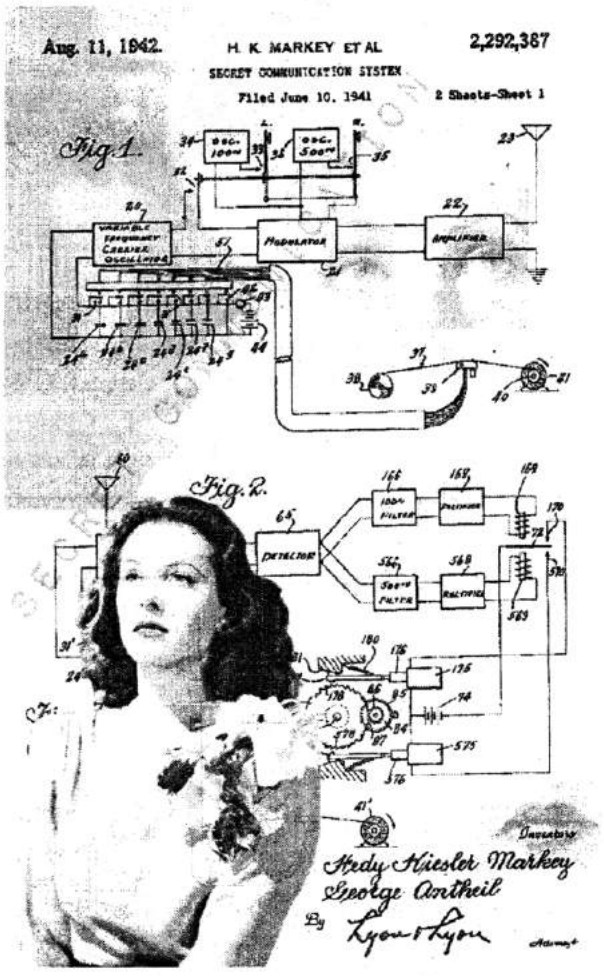
Крім звичайної школи, Геді навчалася в театральній. Уперше знялася 1930 року у німецькому фільмі "Дівчина в нічному клубі".

У 1933 році Геді Ламар одружилася з фабрикантом зброї, австрійським мільйонером Фрідріхом Мандлем. Після чотирьох років невдалого шлюбу, пані Мандль залишила чоловіка і втекла до США. Там вона змінила своє ім'я з Гедвіг Кіслер на Геді Ламар, невдовзі підписала в Голівуді вигідний контракт. Актриса зробила успішну кар'єру в кіно. Зіграла в таких популярних фільмах, як "Алжир" (1938), "Леді в тропіках" (1939), "Тортілья – Флет" (1942), "Небезпечний експеримент" (1944), "Самсон і Даліла" (1949) та багатьох інших. Пізніші ролі в кіно супроводжувалися скандалами, наклепами, судовими позовами.

Геді Ламарр померла 19 січня 2000 року в місті Орландо у Флориді у 86-річному віці. Прах актриси за заповітом розвіяли на її батьківщині, в Австрії.

Крім кіно, акторка Геді Ламар займалася наукою.

Доля познайомила Ламар з авангардистським композитором Джорджем Антейлом, який мешкав неподалік. Ламар поділилася з Антейлом дуже важливою ідеєю: якщо дистанційно повідомляти координати цілі керованій торпеді на сталій частоті, то ворог може легко перехопити сигнал, заглушити його або перенаправити торпеду на іншу ціль. Щоб дати своїй другій батьківщині (Австрії) військову перевагу, Ламар запропонувала керувати торпедами за допомогою сигналів, які не можна буде перехопити або заглушити.



Ламар і Антейл незабаром запропонували використовувати на передавачі випадковий код, який буде змінювати частоту каналу передачі, синхронізуючи такі ж частотні переходи на приймачі. Така зміна каналів зв'язку гарантує безпечну передачу інформації. До того часу псевдовипадкові коди використовували для кодування інформації, переданої незмінними відкритими каналами зв'язку. Секретний ключ стали використовувати для швидкої зміни частот каналів передачі інформації.

Без винаходу Ламар нині не літали б військові супутники та не працювали б стільникові телефони стандарту GSM.

У серпні 1942 року Ламар і Антейл отримали патент під номером 2292387 "Секретна система зв'язку" (Secret Communication System). Патент описує секретні системи зв'язку, що містить передачу фальшивих сигналів на різних частотах. Цей патент став основою для зв'язку з розширеним спектром, що сьогодні використовують всюди, від мобільних телефонів до Wi-Fi і GPS.

Їхній винахід не відразу був використаний. Його вперше було реалізовано на морських кораблях під час кубинської ракетної кризи, а згодом почали використовувати й в інших військових цілях.

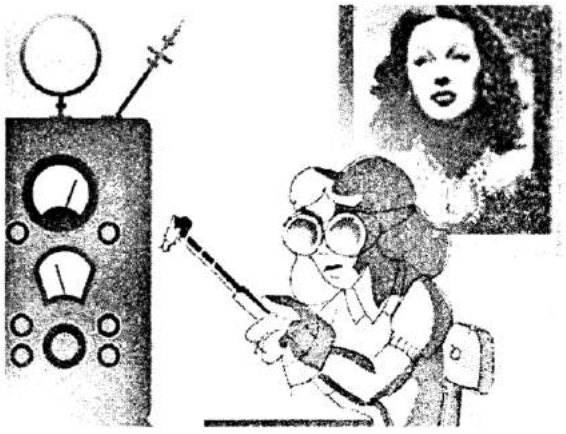
Винахід Ламар вчасно належно не оцінили. Лише 1997 року її та Джорджа Антейла нагородили престижною премією Electronic Frontier Foundation (EFF). Цього ж року Ламар стала першою жінкою, що отримала престижну премію (BULBIE™ Gnass Spirit of Achievement Award), яку називають ще премією "Оскар за винаходи".

Ламар стала однією із жінок, які стали найвідомішими винахідниками XX сторіччя.

Геді Ламар зображена на заставці під час завантаженні програми Corel Draw 8-ої і 9-ої версій.

День народження актриси 9 листопада у німецькомовних країнах названо Днем винахідника.

На початку 2014 року ім'я Геді Ламар у США додали до Зали Слави Винахідників.



Паславський Роман,
Львівський технічний коледж при Львівському університеті "Львівська політехніка"

ПЕРША ЛЕДІ ІНТЕРНЕТУ

На початку розвитку Інтернету, зображення були великі, бо ефективні алгоритми стиснення тільки розроблялися, комп'ютерна техніка була недосконала.

Журнал "Плейбой" 1972 року присвоїв Лені Седерберг (Lena Söderberg) титул "Міс листопад" та опублікував її світлини у журналі.

Приблизно в той же час молодий науковець із Університету Південної Каліфорнії Олександр Савчук шукав відповідну картинку, щоб випробувати на ній роботу алгоритму стиснення, а про результати доповісти на майбутній конференції.

Хтось з колег приніс згаданий журнал. Поглянувши на світлину дівчини, Савчук засканував її. Оскільки апарат давав 100 ліній на дюйм, а була потрібна картинка розміром 512x512 точок, то зображення підрізали і зупинитися приблизно на рівні плечей фотомоделі. Під час досліджень "Лена" стала добрим тестовим зображенням, а отримані наукові досягнення стали підґрунтям стандартів JPEG[1] і MPEG[2], що фінансував Пентагон у межах проекту мережі ARPANET[3].

Згодом й інші дослідники перевіряли свої алгоритми на цьому ж зображенні, щоб порівняти їх за ефективністю і швидкістю з іншими методами стиснення. І так потроху "Лену" стали використовувати багато дослідників. Свої відкриття вони проводили на еталонному зображенні й, звісно, результати разом із картинками публікували в наукових журналах, книжках і дисертаціях. Зауважимо, що більшість учених навіть не підозрювало про справжнє походження світлини.

Зображення з'являлося так часто, що журнал "Optical Engineering" 1991 року помістив "Лену" на обкладинку одного із своїх часописів. Хтось сповістив власників "Плейбоя" про те, що їхні права грубо порушені. Редактор "Optical Engineering" змушений був розповісти колегам з опрацювання зображень з "Плейбоя" історію поширення "Лени" у наукових колах. Ті дуже здивувалися, що такий матеріал міг стати в нагоді в навчальних та дослідни-

[1] ***JPEG*** (Joint Photographic Experts Group) – растровий формат збереження графічної інформації, що використовує стиснення з втратами.

[2] ***MPEG*** (Moving Picture Experts Group) – експертна група з питань рухомого зображення. Розробляє стандарти стиснення цифрового відео та аудіо.

[3] ***ARPANET*** (Advanced Research Projects Agency Network) – Мережа агентств передових досліджень, яку вважають початком Інтернету. Створена за дорученням Міністерства оборони США та за допомогою деяких наукових установ.

цьких цілях, та все ж попередили, що для інших потреб треба мати дозвіл на передрукування.

Одразу розгорілися дискусії про правомочність використання світлини й, те, що подібні зображення публікуються в поважних часописах.

Деякі науковці-жінки скаржилися, що їм не хочеться бачити цей образ всюди: на конференціях, в бібліотеці й навіть в університетських авдиторіях.

Деякі дослідники-чоловіки застерігали наукових редакторів від "пропаганди" світлини видання, яке експлуатує жіночу красу. Вони закликали заборонити публікацію "Лени", а для тестування використовувати якісь інші зображення. Прихильники "Лени" відбивалися як могли і заявили, що відмова від еталону неможлива, що це такий самий інструмент, як скальпель для хірурга чи молоток для геолога. Дехто стверджував, що знають "Лену" так добре, що можуть передбачити поведінку будь-якого алгоритму – від розмиття за Гаусом до переведення у полярні координати – і замінити її фактично нічим.

У січні 1992 року редактор часопису "IEEE Transactions on Image Processing" Девід Мансон (David Munson) опублікував статтю, в якій попросив авторів утриматися від використання "Лени", за умови, звичайно, що її можна замінити іншим відповідним зображенням. Мансон написав, що не має наміру вводити цензуру, і навів аргументи і прихильників, і противників "еталона". Як додатковий аргумент він розповів історію про те, як "Лену" було використано навіть у фільмі Вуді Аллена "Той, хто заснув". Головному герою, що заснув 1973 року й прокинувся за 200 років, для впізнання були пред'явлені артефакти минулої епохи: світлини Сталіна, де Голля і той самий випуск "Плейбоя".

Водночас справжня Лена, не підозрюючи про свою популярність, тихо мешкала з родиною неподалік від Стокгольма і виховувала трьох дітей. До того ж, вона й не знала, що таке Інтернет, як зручно передавати по ньому зображення в стислому вигляді та про свою роль у наукових відкриттях. Про все це 1997 року їй розповіли на науковій конференції ті, хто "працював" з нею упродовж 25 років.

На честь ювілею щомісячний часопис "Wired", який видається в Сан-Франциско, назвав Лені Седерберґ першою леді Інтернету, а "Плейбой" відмовився від авторських прав на світлину, яка так сподобалася вченим.

І хоча скептики стверджують, що пора б замінити "стареньку" на досконаліший у технічному відношенні екземпляр, багато вчених і раніше їй вірні.

Лені присвячений сайт www.lenna.org.

Лілія Паславська

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО ...

Слюсар, що став відомим фізиком

Родичі Ґеорґа Ома (Georg Simon Ohm, 1787–1854) по батьковій лінії, починаючи від прадіда, були слюсарями. Батько Ґеорґа Ома передав двом своїм синам не лише знання і досвід роботи з металом, але й свою наполегливість, працьовитість і віру в досягненні мети. Це згодом пригодилося ученому під час виготовлення приладів і пристроїв для наукових досліджень.

Серія книжок "БІБЛІОТЕКА МОЛОДОГО НАУКОВЦЯ"

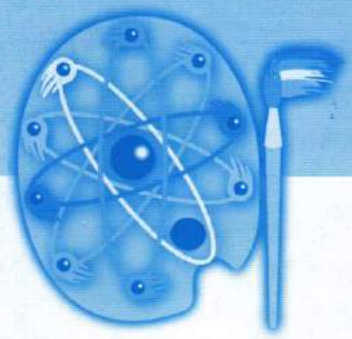
1. Довгий Я. ***Розповіді про фізиків.*** – Львів: Євросвіт, 2015. – 520 с.
2. Довгий Я. ***Чарівне явище надпровідність.*** – Львів: Євросвіт, 2000. – 440 с.
3. Проскура О. ***Осяяні світлом науки. Нариси з історії фізики***. – Львів: Євросвіт, 2010.

Серія книжок "Бібліотека "СВІТ ФІЗИКИ"

1. Олекса Біланюк. ***Тахіони.*** – Львів: Євросвіт, 2002. – 160 с.
2. Шопа Г., Бондарчук Я. ***Творчість – його кредо.*** – Львів: Євросвіт, 2003. – 92 с.
3. Іво Краус. ***Вільгельм Конрад Рентґен*** (пер. з чеськ.). – Львів: Євросвіт, 2004. – 94 с.
4. Штол Іван. ***Крістіан Доплер*** (пер. з чеськ.). Львів: Євросвіт, 2004. – 72 с.
5. ***Василь Міліянчук*** / За ред. О. Попеля. – Львів: Євросвіт, 2005. – 20 с.
6. ***Життя, віддане науці*** / За ред. І. Николина. – Львів: Євросвіт, 2005. – 106 с.
7. Манфред Ахіллес. ***Різдвяні листи про знаменитих фізиків*** (нім. мовою). – Львів: Євросвіт, 2007. – 56 с.
8. Мриглод І. та ін. ***Микола Боголюбов та Україна.*** – Львів: Євросвіт, 2009. – 192 с.
9. ***Спектри кристалів. Збірник на пошану професора Ярослава Довгого*** / Упорядник Галина Шопа. – Львів: Євросвіт, 2013. – 132 с.
10. Стадник В., Курляк В. ***З когорти плугатарів*** (з нагоди 80-річчя від дня народження Миколи Олексійовича Романюка). – Львів: Євросвіт, 2011. – 116 с.
11. В. Алексейчук, О. Гальчинський, Г. Шопа. ***Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки.*** – Львів: Євросвіт, 2004. – 184 с.
12. Б. Кремінський. ***Всеукраїнські олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки***. 3-те вид. – Львів: Євросвіт, 2007. – 344 с.

ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!
Не забудьте передплатити
науково-популярний журнал "Світ фізики",
попередні числа видання можна замовити
в редакції журналу за адресою:

вул. Саксаганського, 1,
м. Львів, 79005, а/с 6700;
Phworld@franko.lviv.ua



Софія Караффа-Корбут
(1924–1996)
Іван Підкова, 1963

Софія-Романа-Роксоляна Караффа-Корбут – українська художниця-графік. Проілюструвала понад 60 творів українських письменників, які було надруковано накладом понад шість мільйонів примірників (кожну четверту дитячу книжку, яка виходила в Україні).

Народилася Софія-Роксолана-Романа у Львові, куди приїхала її мати, розірвавши стосунки з чоловіком — білоруським графом Петром Караффою. Дитинство Софії пройшло в оточенні відомих людей: філолога і мистецтвознавця І. Свенціцького, митрополита А. Шептицького. Хрещеним батьком Софії був І. Тиктор – відомий галицький видавець, а хрещеною матір'ю – соратниця І. Франка Стефанія Мазур.

Дитячі роки Софія провела в селі Куткір та у Львові.

Закінчивши 1936 року початкову школу, Софія продовжила навчання в жіночій ґімназії сестер Василіянок. Проте 1939 року ґімназію закрили і вона поїхала до районного міста Стрия, щоб продовжити навчання у середній школі. Проте її не закінчила, бо почалася Друга світова війна. Софія повернулася до Львова і 1942 року вступила до Державної мистецько-промислової школи. Вона 1944 року закінчила перший клас Державної технічної фахової школи для будівництва. Навчання було перервано. Продовжила його у щойно відкритому Львівському художньо-промисловому училищі (нині коледж ім. Івана Труша). Закінчивши мистецьку освіту, Софія Караффа-Корбут продовжила навчання в Інституті прикладного й декоративного мистецтва на відділі прикладної графіки факультету монументального живопису.

Софія Караффа-Корбут 1953 року закінчила Львівський інститут прикладного та декоративного мистецтва, де навчалася у Івана Гуторова, Вітольда Манастирського та Романа Сельського.

Працювала в галузі станкової та книжкової графіки (переважно в техніці ліногравюри), декоративного мистецтва.

Померла художниця 29 листопада 1996 року. Похована на цвинтарі села Куткір. У 2000 році на її могилі поставили пам'ятник роботи скульптора Івана Микитюка. На чорному мармурі надмогильного пам'ятника зображено Мавку, що тягне руки до неба. З протилежного боку викарбувано слова художниці: «Я цінності ті марні давно перецінила і знаю: головне в житті є тільки віра, праця, честь та добра пам'ять по тобі, що теж живе недовго...»