Світ фізики

№1
2003

науково-популярний журнал

Атомній моделі Бора – 90 років

Я розглядаю праці Бора як величезний тріумф людської думки

Е. Резерфорд

Іван Климишин – людина великого неспокою за все, що робить сам, за все, що робиться в Україні

ВІДЗНАКА
„ЗА ПОПУЛЯРИЗАЦІЮ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ”

СП „ЄВРОСВІТ” і журнал „Світ фізики” заснували щорічну відзнаку **„ЗА ПОПУЛЯРИЗАЦІЮ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ”.**

Щорічно цю відзнаку одержуватимуть науковці, викладачі вищих навчальних закладів, учителі та всі, хто популяризуватиме фізику в Україні.

2002 року відзнаку **„За пропуляризацію фізики в Україні”** отримали:

Юрій Ранюк за книжку „Лабораторія № 1” та

Валерій Колебошин за роботу з обдарованими школярами і студентами; організацію та проведення турнірів юних фізиків, зокрема за успішне проведення вперше в Україні Міжнародного турніру юних фізиків.

Юрій РАНЮК народився 2 червня 1935 р. у м. Воронежі (нині Росія). Після закінчення школи, вступив на фізико-математичний факультет Харківського державного університету.

У 1958 році Ю. Ранюк розпочав працювати у Фізико-технічному інституті в Харкові. Кандидатську дисертацію Ю. Ранюк захистив 1967 року, докторську – 1978, займається науковою та педагогічною діяльністю, ядерно-фізичними дослідженнями, співпрацює з науковцями багатьох країн світу, проводить наукові дослідження в ЦЕРНі, бере участь у наукових конференціях, плідно працює в Американському та Українському фізичних товариствах, є Почесним членом американського Географічного товариства, дійсним членом НТШ. Ю. Ранюк цікавиться історією фізики, популяризує цю науку, має багато публікацій та декілька книжок з історії фізики. Юрій Ранюк – заслужений працівник культури України, проводить краєзнавчі дослідження, співає в хорі, займається спортом та туризмом.

Валерій КОЛЕБОШИН народився 4 травня 1952 року в селі Привольне Джалілабадського району (Азербайджан). У 1978 році закінчив фізичний факультет Одеського національного університету ім. І.І. Мечнікова, 1987 року захистив кандидатську дисертацію. Нині В. Колебошин – доцент кафедри експериментальної фізики ОНУ, заступник директора Рішельєвського ліцею. Багато років працює з обдарованими дітьми, є організатором Турніру юних фізиків, членом журі Всеукраїнської олімпіади з фізики, ініціатором проведення студентського турніру фізиків, автором багатьох фізичних задач, публікує науково-популярні праці з фізики.

СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

1(21) '2003

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

Виходить 4 рази на рік

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

Головний редактор
Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:
Олександр Гальчинський
Галина Шопа

Редакційна колегія:
О. Біланюк
М. Бродин
П. Голод
С. Гончаренко
Я. Довгий
І. Климишин
Ю. Ключковський
Б. Лукіянець
Ю. Ранюк
Й. Стахіра
Р. Федорів
Я. Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор
Мирослава Прихода

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

Адреса редакції:

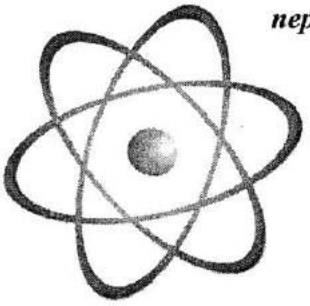
редакція журналу „Світ фізики"
вул. Саксаганського, 1,
м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 96 46 73, 40 31 89
у Києві 380 (044) 416 60 68
sf@ktf.franko.lviv.ua
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Чому фізика важлива і яку користь вона приносить? Звичайно, фізик не будує нових будинків чи нових транспортних засобів, не лікує хворих і не поліпшує наших осель. Фізика розширює наші знання про Всесвіт, її складники, елементи та поведінку. Архітектори й інженери, які проєктують будинки чи створюють авіаційну техніку, постійно користуються законами механіки, що відкрили фізики. Багато методів діагностики і терапії у медицині розроблено у фізичних лабораторіях. Радіо, телебачення, комп'ютери – це результати відкрить фізиків... Якщо б не було постійного припливу нових ідей із фізики, то не було б і сучасної техніки, а рівень технічного розвитку застиг і був би примітивним.

Оскільки фізика безпосередньо пов'язана з технікою, то очевидно, наскільки важливою вона є для суспільства.

Для людини важливі не лише матеріальні досягнення, для її розвитку постійно потрібні інтелектуальні стимули. Саме у фізиці найяскравіше виявляється діяльність людського розуму, подібно до того, як це відбувається в історії, філософії, музиці тощо.



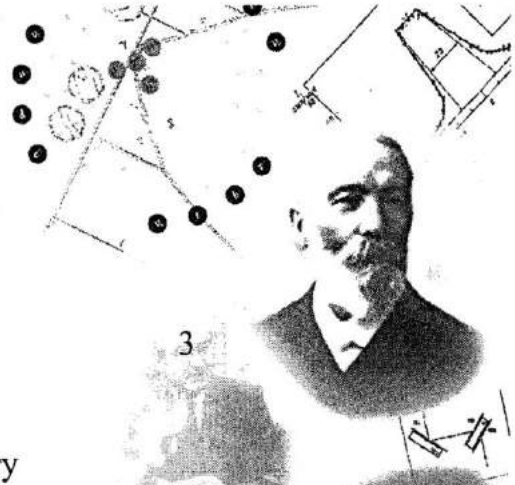
Не забудьте передплатити журнал „Світ фізики"

Передплатний індекс
22577

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

© СП „Євросвіт"

ЗМІСТ



1. Нові і маловідомі явища фізики

Довгий Ярослав. Ефекти Джозефсона 3

2. Фізики України

Корсунь Алла. Прикарпатський співець Всесвіту (до 70-річчя від дня народження І. Климишина) 11

Шопа Галина. Олексій Ситенко 14

3. Фізики світу

Шопа Галина. Тріумф людської думки (до 90-річчя атомної моделі Бора) 18

4. Олімпіади, турніри…

Умови задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2003 р. у Львівській області 24

Задачі 7-го відкритого Луганського турніру юних фізиків (юніорська ліга, 8–9-й класи) 26

Кіт Олег. Севастопольські баталії 28

5. Нобелівські лавреати

Гальчинський Олександр. Два нових вікна у Всесвіт 30

6. Олімпіади, турніри…

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2003 р. у Львівській області 32

7. Творчість юних

Пристай Олексій. Утворення інею на крилах літаків 38

Матвейчук Олег, Самошкін Сергій, Піпко Сергій, Старостін Генадій, Чепижко Олександр, Віктор Павло. Придумай сам 42

8. Реальність і фантастика

Гальчинський Олександр. Нейтринні експерименти 46

Михальчишин Адріан. Фізики і шахи 47

ЕФЕКТИ ДЖОЗЕФСОНА*

Ярослав Довгий,

Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізик-теоретик Брайан Давид Джозефсон, щойно закінчивши (1960) коледж Колумбійського університету, будучи 1962 р. аспірантом у лабораторії Монда в Кембриджі, теоретично передбачив явища, які названі його іменем і за що 1973 р. він отримав Нобелівську премію. Зверніть увагу: 22-річний юнак здійснив відкриття нобелівського рівня. Чи не є це взірцем і для наших молодих науковців?!

Брайан ДЖОЗЕФСОН

У чому суть відкрить Джозефсона?

Стаціонарний ефект Джозефсона

Теоретично досліджуючи поведінку контакту двох надпровідників або надпровідника з діелектриком, Джозефсон дістав принципово новий і несподіваний результат, що не узгоджувався з відомими класичними фізичними моделями. З'ясувалося, що при такому контакті можливе протікання стаціонарного струму через ізолятор, причому за відсутності прикладеної різниці потенціалів між двома провідниками. Це т. зв. перший або стаціонарний ефект Джозефсона.

Протікання надпровідного (бездисипативного) струму відбувається завдяки утворенню електронних (куперівських) пар.

Як утворюються електронні пари? Найперше виникає запитання: як можуть спарюватися два електрони, якщо однойменно заряджені частинки відштовхуються?

Очевидно, крім відштовхування, для утворення куперівської пари мусять виникати й сили притягання. Вони якраз і виникають завдяки взаємодії електронів з йонами, які утворюють каркас кристалічної ґратки. На це вперше 1950 р. правильно вказав англійський фізик Г. Фреліх.

Із класичного погляду механізм такий. Електрон з переміщенням у регулярній ґратці кристала притягує найближчі позитивно заряджені йони, злегка деформуючи ґратку й утворюючи короткочасне (миттєве) збільшення концентрації позитивного заряду. Ця збільшена концентрація позитивного заряду сприяє притяганню другого електрона. Виходить, що обидва ці електрони через посередництво кристалічної ґратки притягаються.

Йони кристалічної ґратки при $T \neq 0$ здійснюють коливання навколо положень рівноваги. Кванти таких пружних коливань називаються фононами. Якщо говорять про електрон-фононну взаємодію, то цим виразом дають означення складного процесу взаємодії електронів з динамічною (рухливою) ґраткою, тобто ґраткою, що коливається.

Завдяки електрон-фононній взаємодії за відповідних умов два електрони можуть утворити куперівську пару. Заряд такої пари дорівнює $2e$. Якщо n_s – концентрація надпровідних електронів, то концентрація куперівських пар буде $n_s/2$.

*Докладніше про це читайте у книзі: Ярослав Довгий. Чарівне явище надпровідності. – Львів: Євросвіт, 2000. – 440 с.

На великих відстанях кулонівське відштовхування двох електронів суттєво менше ще й тому, що поміж ними багато позитивно заряджених йонів та інших електронів, і всі ці сили притягання та відштовхування зрівноважуються. Підсумуймо: лише ті електрони, що на значних відстанях, притягуються завдяки взаємодії з фононами рухатимуться синхронізовано, узгоджено.

Основні засадничі ідеї, виходячи з яких можна зрозуміти ефект Джозефсона, обґрунтували ще брати Ф. і Г. Лондони. Це твердження про квантову сутність явища надпровідності. В основному стані всі куперівські пари описують хвильовою функцією

$$\Psi = |\Psi| e^{i\varphi} \qquad (1)$$

з однаковою фазою φ.

Фази хвильових функцій куперівських пар строго скорельовані – встановлюється стан макроскопічної фазової когерентності. Це стан системи, у якій виник далекий порядок масштабу всього зразка. Одержуємо квантовий стан макросистеми. Доречно буде зауважити, що можливість описувати надпровідну фазу (*S*-фази) єдиною хвильовою функцією (1) послужила основою побудови феноменологічної теорії надпровідності Гінзбурга-Ландау. У цій теорії величину $|\Psi|^2$ вважають сталою, і вона дорівнює концентрації куперівських пар. Рівняння (1) можна записати:

$$\Psi = \sqrt{\frac{n_s}{2}}\, e^{i\varphi} \ . \qquad (2)$$

Якщо ж два надпровідники з фазами φ_1 і φ_2 привести у контакт через тонкий шар ізолятора (рис. 1), то через такий контакт протікатиме стаціонарний струм Джозефсона

$$I_{\text{Дж.}} = I_0 \sin(\varphi_1 - \varphi_2), \qquad (3)$$

де $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – різниця фаз з обох боків контакту, I_0 – максимальний тунельний струм, пропорційний площі тунельного переходу та коефіцієнта прозорості тунельного бар'єра. Зверніть увагу! Це не змінний струм (нехай не вводить вас в оману синус у виразі (3)), бо для заданого контакту $\sin(\varphi_1 - \varphi_2) = \text{const}$.

Стаціонарний ефект Джозефсона експериментально виявили Андерсон та Роуел 1963 р., тобто за рік після опублікованого передбачення Джозефсона. Була зафіксована періодична залежність джозефсонівського струму від магнетного поля (рис. 2).

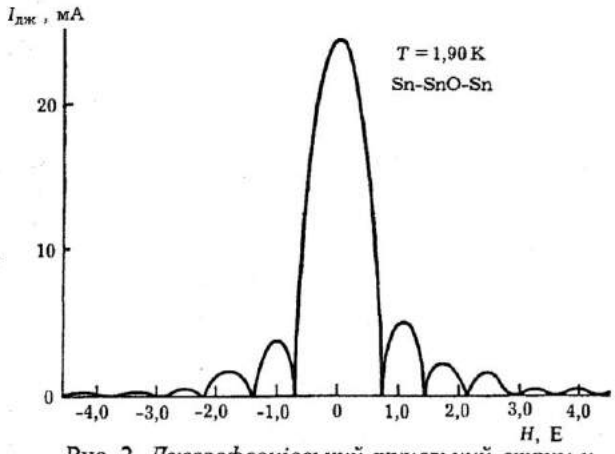


Рис. 2. *Джозефсонівський тунельний струм у контакті Sn-SnO-Sn залежно від величини магнетного поля*

У магнетному полі струм $I_{\text{Дж}}$ періодично змінюється залежно від Φ/Φ_0, де $\Phi_0 = 2{,}07 \cdot 10^{-15}$ Вб. Виразно виявляється явище квантування магнетного потоку у надпровіднику, оскільки періоди кратні Φ_0 (рис. 3). Це дуже важливий результат, оскільки з'явилася можливість „рахувати" кванти потоку магнетного поля.

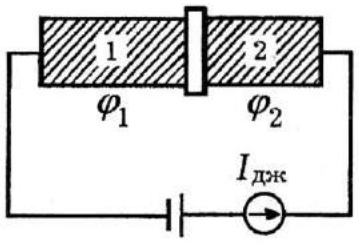


Рис. 1. *Схема вимірювання джозефсонівського струму*

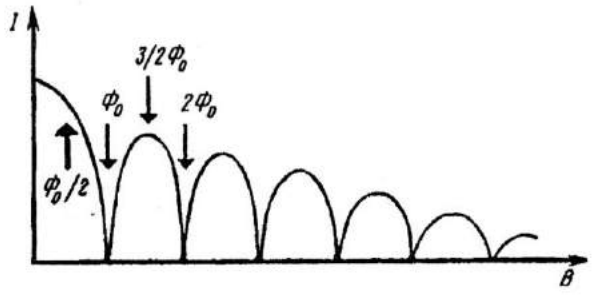
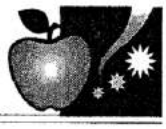


Рис. 3. *Періодичність $I_{Дж}(B)$*



Не менш важлива й інша обставина. Просте співвідношення (3) має ось який концептуальний сенс: вперше якось так несподівано та просто увійшла в експериментальну фізику й стала доступною як параметр досліду така, здавалось би, неспостережувана величина, як фаза хвильової функції твердого тіла – надпровідника.

Навіть школярі знають про такі вимірні прилади, що дають змогу вимірювати або зіставляти фази різних хвиль. Вони добре відомі в оптиці й називаються інтерферометрами. Отже, прилади з джозефсонівськими контактами також можна віднести до класу інтерференційних. Завдяки високій прецизійності інтерферометричних вимірювань можемо стверджувати, що система основних фізичних одиниць і стандартів ґрунтуватиметься на вимірюваннях, виконаних з інтерферометрами двох типів – лазерними оптичними та надпровідними джозефсонівськими.

Нестаціонарний ефект Джозефсона

Якщо на джозефсонівський тунельний контакт подати постійну напругу U, то крізь нього протікатиме високочастотний змінний струм. Це другий ефект, передбачений Джозефсоном, який називається нестаціонарним ефектом Джозефсона.

При постійній напрузі – змінний струм!

Частоту змінного джозефсонівського струму неважко підрахувати. Якщо є різниця потенціалів між двома надпровідниками, то енергія куперівських пар з обох боків переходу відрізнятиметься на величину

$$\Delta E = 2eU,$$

$2e$ – заряд пари. У звичайному металі ця енергія пішла б на подолання електроопору. Під час протікання ж надпровідного тунельного струму таких витрат не буде, тому одержана куперівською парою енергія ΔE випромінюється з частотою

$$\omega = \frac{\Delta E}{\hbar} = \frac{2eU}{\hbar}. \qquad (4)$$

У реальному електричному колі, замкненому за допомогою звичайного провідника з опором R, вираз для частоти буде такий:

$$\omega = \frac{2e}{\hbar} R\sqrt{I^2 - I_к^2}, \qquad (5)$$

де $I_к$ – критичний струм переходу. Якщо джозефсонівський струм, що зумовлений прикладеною ззовні напругою, виявиться більшим від критичного ($I > I_к$), то перехід стане джерелом високочастотного електромагнетного випромінювання, що називається джозефсонівською генерацією. Джозефсонівський тунельний контакт стає генератором високочастотного електромагнетного випромінювання.

Зверніть увагу, що у формулі для частоти джозефсонівського випромінювання фігурує заряд $2e$. Отже, той факт, що на досліді справді спостерігається випромінювання з передбачуваною частотою, можна розглядати як переконливе і безпосереднє експериментальне підтвердження моделі куперівських пар.

Які можуть бути частоти цього випромінювання? Від ультракороткого (сантиметрового) радіодіапазону до ближньої інфрачервоної області. Це якраз діапазон частот, у якому одержати випромінювання іншими способами (окрім мазерів) не так просто. Так що перспективи застосувань нестаціонарного ефекту Джозефсона відразу були оцінені.

Експериментально зафіксувати випромінювання тунельного переходу виявилося значно важче, ніж зафіксувати постійний струм Джозефсона. Це дослід значно складніший, бо, по-перше, потужність випромінювання дуже мала; по-друге, частота випромінювання припадає на такий діапазон електромагнетного спектра, де потрібні спеціальні реєструвальні пристрої.

Перший експеримент, де безпосередньо вдалося зареєструвати електромагнетне випромінювання з джозефсонівських контактів, успішно провели 1964 р. українські фізики з Харкова (у Фізико-технічному інституті низьких температур НАН України) Ігор Дмитренко, Володимир Свистунов та Ігор Янсон. Частота генерованих хвиль була 10^{10} Гц (довжина хвилі 3 см), потужність майже 10^{-14} Вт. Через півроку їхній результат підтвердили американські фізики із Пенсильванського університету.

Докладні теоретичні дослідження електродинамічних характеристик тунельних переходів проводили українські фізики-теоретики Ігор Кулик, Анатолій Свідзинський та ін.

Можливий опосередкований експеримент для виявлення змінного джозефсонівського струму. Його ідея належить самому авторові відкриття. А зреалізував її американець С. Шапіро. Ось у

чому суть експерименту. Якщо на тунельний контакт подіяти змінним високочастотним полем, то на вольт-амперній характеристиці виникнуть специфічні сходинки (рис. 4). У кожному випадку, якщо частота джозефсонівського випромінювання кратна частоті зовнішнього поля, у результаті накладання (суперпозиції) полів виникне додатковий постійний джозефсонівський струм, який і дасть сходинчасту вольт-амперну характеристику.

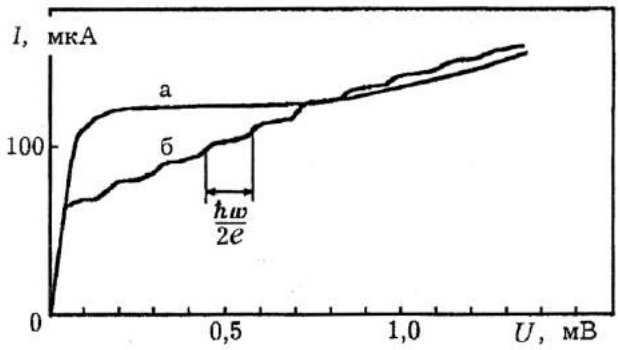


Рис. 4. *Вольт-амперна характеристика джозефсонівського переходу: а – без зовнішнього ВЧ електромагнетного поля; б – при дії ВЧ поля. Видно сходинчасту залежність з періодом ħω/2e*

Вольт-амперні характеристики контакту звичайного провідника (*N*) та надпровідника (*S*) *NS*- та S_1S_2-тунельних переходів без зовнішнього опромінення зображені на рис. 5 і 6.

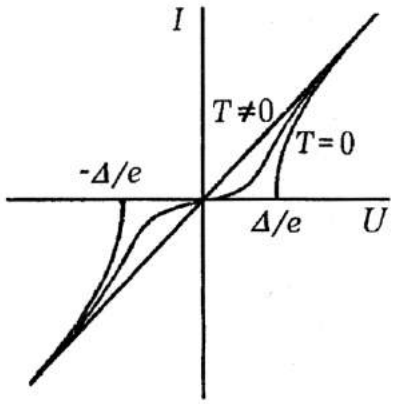


Рис. 5. *Вольт-амперна характеристика NS-тунельного переходу*

Ґрунтовні осцилографічні дослідження давали вольт-амперну характеристику, яка виглядає дещо дивно (рис. 7). Вертикальна лінія при $U = 0$ відповідає струмові при нульовій різниці потенціалів (стаціонарний ефект Джозефсона). Віддамо належне заслугам норвезького фізика Айвара Ґіавера, який першим 1960 р. звернув увагу на цю деталь вольт-амперної характеристики, що, по

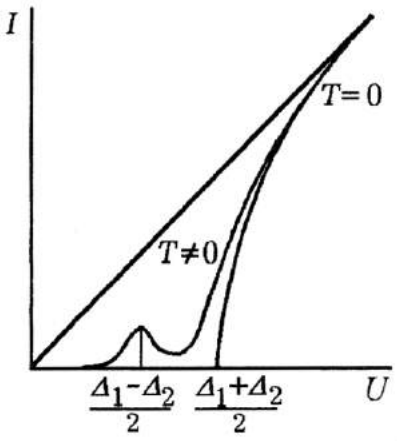


Рис. 6. *Вольт-амперна характеристика S_1S_2-тунельного переходу*

суті, спонукало Джозефсона зайнятися цією проблемою. Просте витлумачення цих особливостей, що суперечило усталеним класичним моделям, якраз привело до відкриття двох ефектів Джозефсона. Знову, як і у випадку моделі куперівських пар, виявилася цінність нестандартного підходу.

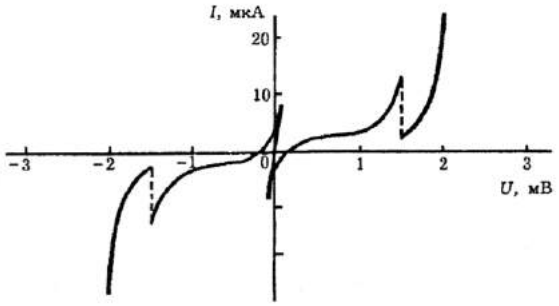
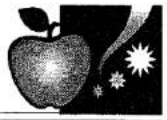


Рис. 7. *Особливості вольт-амперної характеристики тунельного переходу*

Нобелівську премію з фізики 1973 р. „за теоретичні передбачення властивостей струму, що проходить через тунельний бар'єр, зокрема, явищ, знаних як ефекти Джозефсона" разом з Брайаном Джозефсоном розділили Айвар Ґіавер і японський фізик Лео Есакі, який ще у 1950-х роках створив



новий напівпровідниковий прилад – тунельний діод (на вольт-амперній характеристиці якого спостерігалася область від'ємного опору).

Із розвитком сучасних т. зв. нанотехнологій роль тунельних явищ набуває усе суттєвішого значення.

Нині розвинулася ціла галузь фізики – тунельна спектроскопія, яка методом вимірювання тунельних явищ дає змогу одержувати важливу інформацію про різні матеріали, серед них і надпровідники.

Що таке надпровідний струм?

Охарактеризувавши фізичну суть ефектів Джозефсона, розгляньмо їхнє практичне застосування. Але перед тим мусимо ще раз поміркувати, який все-таки механізм протікання надпровідного струму.

Якщо до надпровідника прикласти різницю потенціалів, куперівські пари в електричному полі діставатимуть імпульс і прискорюватимуться до набуття певної дрейфової швидкості. Цей імпульс для усіх пар буде однаковим. Іншими словами, виникнення надпровідного струму не порушує кореляції пар. Якщо густина струму менша від критичної $j < j_к$, бозе-конденсат діє як єдиний колектив. У цьому суттєва відмінність поведінки носіїв у звичайному металі (N-фаза) та у надпровіднику (S-фаза). У N-фазі неспарені електрони розсіюються на дефектах ґратки, домішках та фононах, що призводить до хаотизації їхнього руху і є причиною виникнення електроопору й енергетичних втрат на джоулеве тепло.

У S-фазі куперівські пари, допоки вони не розірвані, розсіюватися не можуть, оскільки флуктуаційне вичленення будь-якої з них із бозе-конденсату як скорельованої системи маловірогідне. Одне слово, якщо один із членів пари „спотикнеться" об дефект і „відскочить", то цю „заминку" у русі поправить або скомпенсує своєю поведінкою його „партнер". Скомпенсує у тому розумінні, що сумарний імпульс пари електронів зостанеться таким самим, як в інших пар.

Куперівську пару можна вирвати із конденсату лише тоді, коли зруйнувати (розірвати) її. Як ми знаємо, для цього при $T = 0$ потрібно затратити енергію 2Δ (надпровідна енергетична щілина).

Якщо підвищити температуру надпровідника (у ділянці $0 < T < T_к$), то все більша кількість пар розриватиметься. До того ж збільшуватиметься концентрація нормальних електронів (n_N) та зменшуватиметься n_s. І що менше залишатиметься незруйнованих пар, то меншим ставатиме їхній внесок у притягання, яке слабшатиме, тобто все вужчою ставатиме енергетична щілина. При $T = T_к$ вона зникне.

Отже, якщо вдуматися, то зрозуміємо, як температурна залежність $2\Delta(T)$ переконливо демонструє поведінку бозе-конденсату як єдиної сфазованої системи.

Застосування джозефсонівських тунельних контактів

Уже в першій своїй публікації в журналі „Physics Letters" Джозефсон з дивовижною повнотою описав можливі експериментальні досліди з використанням виявлених ефектів. Зокрема він звернув увагу на лінійний зв'язок, з одного боку, добре вимірюваних макроскопічних величин напруги U та частоти ν з фундаментальними константами h і e:

$$e/h = \nu/2U \ . \qquad (6)$$

Нині відношення e/h визначене з надзвичайно високою точністю (похибка менша 10^{-4} %).

Джозефсонівські переходи дуже чутливі до магнетного поля. Ця залежність зображена на рис. 2 й описується формулою

$$I_{\max} = I_0 \left| \frac{\sin(\pi \Phi/\Phi_0)}{\pi \Phi/\Phi_0} \right| , \qquad (7)$$

де Φ – магнетний потік

$$\Phi = \mu_0 Hld , \qquad (8)$$

H – напруженість магнетного поля, l і d – довжина і товщина переходу.

На основі ефектів Джозефсона сконструйовані чутливі детектори дуже слабких змін напруженостей магнетних полів.

Неважко здогадатися, що коли перехід помістити у зовнішнє високочастотне поле з такою ж частотою ω, то має виникнути резонанс. І справді, в цьому випадку вольт-амперна характеристика матиме сходинки, про які вже йшла мова. Сходинки мають ширину $\hbar\omega/2e$ (рис. 4). Оскільки $\hbar$ і e – відомі фізичні константи, а $\omega = 2\pi\nu$ підда-

ється точному визначенню, то на цій основі можна створити квантовий стандарт електричної напруги – вольта. У багатьох національних бюро стандартів він нині чинний.

Можна було б продовжити опис багатьох цікавих ідей, вже зреалізованих і запатентованих, що мають в основі джозефсонівські ефекти. Їх відкриття справило суттєвий вплив на сучасну фізику і кріотехніку.

Ви здивовані, чому однією з перших ми не згадали ідеї створення джозефсонівських генераторів випромінювання. Але вони надто малопотужні (біля трильйонної частки вата!). Зате тунельні SNS – контакти можна використати у ролі надчутливих детекторів електромагнетного випромінювання.

Як це розуміти: генератор – у ролі детектора? Таке застосування ґрунтується знову ж таки на явищі резонансу між зовнішніми і власними коливаннями. Цей принцип, взагалі кажучи, лежить в основі функціонування багатьох приймачів: хвилю вдається „спіймати", коли її частота збігається з частотою приймального коливного контура. У цьому разі приймачем є джозефсонівський тунельний контакт, частоту власних коливань якого легко підлаштувати, змінюючи подавану напругу. Гострота резонансу, котра визначає чутливість приймача, буде дуже високою. Вже створені винятково чутливі приймачі електромагнетного випромінювання, що працюють за таким принципом. Їх використовують, зокрема, для дослідження т. зв. реліктового випромінювання Всесвіту.

Розповідаючи про застосування джозефсонівських тунельних контактів, треба стисло описати технологію їхнього виготовлення.

Під час виготовлення SNS – контактів використовують добре розроблені тонкоплівкові технології. На скляну, кварцову або керамічну підкладку методом вакуумного термічного напилення наносять надпровідну плівку 1 (рис. 8). Наступний етап – створення бар'єрного діелектричного шару. Це шар окислу на поверхні надпровідної плівки, який одержують шляхом окислення у ВЧ-розряді в атмосфері кисню. Товщина діелектрика всього 10 ÷ 20 Å. Відтак на окисний шар наносять надпровідну плівку 2 і тунельний SNS–контакт готовий.

Найголовніше тестове випробування функціональних тунельних контактів – це зняття вольт-амперної характеристики.

Складні джозефсонівські схеми можна виготовляти за т. зв. високими технологіями, які застосовуються під час виготовлення напівпровідникових інтегральних схем.

Є декілька відомих фірм, де серійно виготовляють високоякісні джозефсонівські контакти або т. зв. слабкі надпровідні контакти. Нині ці вироби використовують у нових поколіннях приладів кріоелектроніки — генераторах, підсилювачах, перемикачах, детекторах випромінювання тощо.

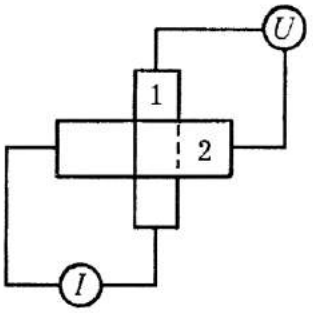


Рис. 8. *Схема тунельного експерименту*

На окрему розмову заслуговує новий клас кріоприладів, які здійснили справжній переворот у сучасній електроніці. Це прилади макроскопічної квантової інтерферометрії.

Скві́ди

Якщо у замкнене електричне коло сполучити два джозефсонівські контакти, то ми таким способом сконструюємо надзвичайно чутливий детектор магнетного поля. Такі пристрої називаються скві́дами (від англ. SQUID – Superconducting Quantum Interference Device – надпровідний квантовий інтерференційний пристрій). За ідеєю і конструктивно-технічним вирішенням скві́ди – це прості надпровідні пристрої, які відкрили нові горизонти у метрології.

Скві́д – це надпровідниковий квантовий інтерферометр (НКІ) з відповідною електронною схемою опрацювання реєстрованих сигналів. На схемі рис. 9 з контуром НКІ зв'язані вхідна котушка надпровідного трансформатора магнетного потоку від магнетної антени (Н), а також резонансний контур (РК). Електрична схема містить

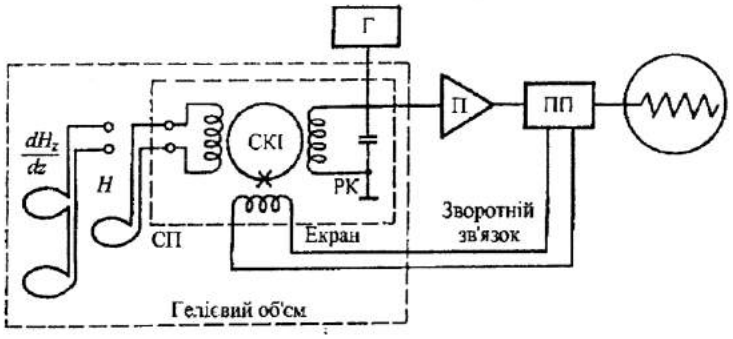


Рис. 9. *Схема ВЧ-сквіда*

генератор збудження (Г), підсилювач (П) і підсилювач потужності (ПП), індикаторний пристрій.

Перші сквіди працювали при гелієвій температурі (4,2 К). У наш час, після відкриття ВТНП, маємо „азотні сквіди" (77,4 К).

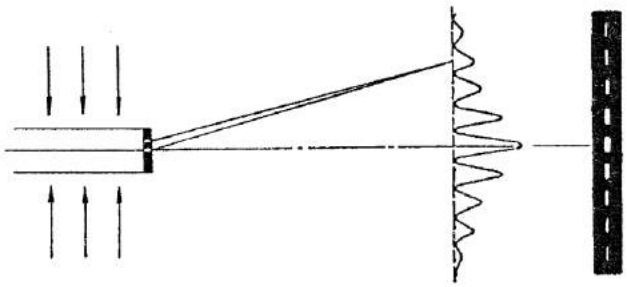


Рис. 10. Схема інтерференційного досліду Юнга в оптиці

Сквід – це аналог популярного в оптиці досліду з інтерференцією за схемою Юнґа (інтерференція світлових хвиль від двох щілин – рис. 10), тільки тут інтерферують не світлові хвилі, а два джозефсонівські струми I_1 та I_2, кожен зі своєю амплітудою і фазою.

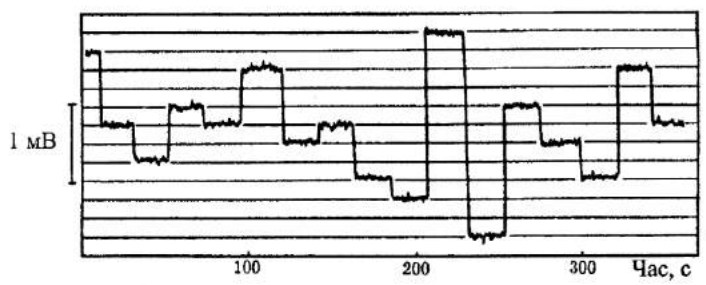


Рис. 11. *Запис сигналу на виході радіочастотного сквідмагнетометра, з якого видно його високу чутливість. Сходинки кратні квантам магнетного потоку*

Сквіди дають змогу фіксувати зміни магнетного потоку порядку 10^{-4} Φ_0 (рис. 11). Маючи площу переріза ~ 1 мм^2 = 0,01 см^2, сквід має змогу фіксувати магнетні поля дуже малої величини.

На основі сквідів створені магнетометри з чутливістю майже 10^{-16} Тл (10^{-12} Гс). Нагадаємо, що напруженість магнетного поля Землі майже 0,5 Гс.

Надпровідні гальванометри у $10^3 - 10^4$ разів чутливіші від звичайних. Завдяки надзвичайно малому внутрішньому опорові такі гальванометри здатні вимірювати напругу порядку 10^{-15} В. За найновішими повідомленнями, рекордна чутливість сквідових вольтметрів ~ 10^{-18} В (аттовольтметри). Це прилади унікальної чутливості.

Енергетична чутливість сквідів сягає 10^{-34} Дж/Гц, тобто майже близька до фундаментальної межі. В ЯМР-спектроскопії і томографії сквіди, загалом, дають змогу реєструвати наявність одного спіна.

Очевидно, такі надчутливі прилади відкривають нові можливості у різних галузях науки: біофізиці, геології, геофізиці, медицині тощо. Вони використовуються для вимірювання магнетних полів живих організмів, виявлення схованих під поверхнею ґрунту чи твердої породи об'єктів, укладання магнетних мап для пошуків корисних копалин тощо.

Надпровідні магнетометри зручні для вимірювання магнетної сприйнятливості (тобто відношення намагніченості до прикладеного поля) різних матеріалів. Завдяки високій чутливості вдається вимірювати дуже малі сприйнятливості та задовольнятися дуже малими кількo-

стями досліджуваних речовин. Ця остання обставина важлива для біологічних та медичних досліджень.

Сквіди застосовували для вимірювання магнетної сприйнятливості зразків місячного ґрунту.

Відомо, що градієнт магнетного поля Землі на її поверхні майже 10^{-9} Гс/см. Сквіди широко застосовують у геофізиці для вимірювання коливань магнетного поля Землі. Зрушення у земній корі, що передують землетрусам та іншим стихійним явищам, спричинюють слабкі збурення магнетного поля Землі, які можна зареєструвати лише цими надчутливими приладами. Тому такі дані, окрім наукового значення, можуть слугувати для прогнозування стихійних явищ.

Уже стало буденною справою застосовувати сквіди у медицині, особливо в кардіології, де донедавна домінували лише електричні методи реєстрації параметрів серцевої діяльності (електрокардіограми). Дослідження магнетних полів серця людини (записи т. зв. магнетокардіограм) показали, що вони несуть більше інформації про серцеву патологію, ніж звичні електрокардіограми. Поля людського серця досягають амплітуд 10^{-7} Гс. Цікаво, що для реєстрації магнетних сигналів не потрібний контакт з організмом. Магнетограми вдається одержати майже від усіх органів людського тіла, бо установки, що ґрунтуються на сквідах, дуже чутливі (рис. 12).

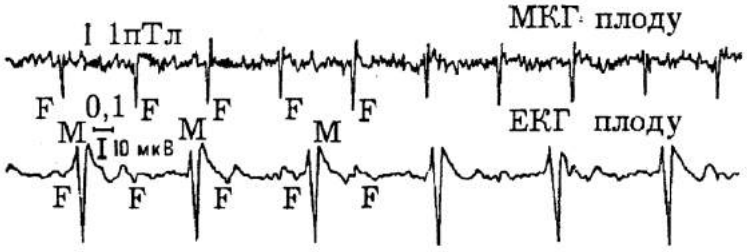


Рис. 12. *Порівняння магнетокардіограми та електрокардіограми. На магнетокардіограмі добре видно серцевий ритм плоду (F), тоді як на електрокардіограмі переважають сигнали серця матері (M)*

За допомогою сквідів вдається виявляти зміни магнетного поля, пов'язані не лише з ритмікою серця, а й з функціонуванням мозку людини (амплітуди поля мозку ~ 10^{-8} Гс) – рис. 13. Тут стають можливими майже фантастичні речі. Наприклад, вдалося зареєструвати сигнали, які виникають у мозку не лише при дії яких-небудь подразників на різні частини організму (реакція мозку на сигнали від органів чуття), але навіть сигнали у відповідь на те, коли у мозку виникає намір здійснити якийсь рух. Відповідний імпульс випереджує дію на певний інтервал часу.

Рис. 13. *Магнетний запис альфа-ритму мозку*

Магнетографічні дослідження фізіологічних процесів та функцій різних органів – це галузь, яка має привабливі перспективи (медична діагностика та ін.). Це галузь біології і медицини XXI сторіччя. Вона показує, як найновіші досягнення фізики можна використовувати для благородних цілей охорони здоров'я.

На базі сквідів і тунельних контактів Джозефсона створені й інші вимірні прилади: низькотемпературні термометри для діапазону температур $10^{-6} \div 10^{+1}$ К, детектори електромагнетного випромінювання. За допомогою цих приладів недавно вдалося уточнити величини деяких фундаментальних фізичних констант.

Розрізняють два типи сквідів: двоконтактні або, як кажуть, сквіди на постійному струмі, та одноконтактні або високочастотні на змінному високочастотному струмі. У їхнє розроблення вагомий внесок зробили українські фізики з Фізико-технічного інституту низьких температур НАН України (м. Харків).

Можна сказати, що за останні два десятиріччя сформувалася нова галузь фізики – *мезоскопіка*, – яка вивчає макроскопічні явища, пов'язані з квантовою інтерферометрією. Сучасні напрацювання мезоскопіки стосуються принципово нових субмікронних та нанометрових електронних пристроїв.

До 70-річчя від дня народження Івана Климишина

Прикарпатський співець Всесвіту

Алла Корсунь,
Головна астрономічна обсерваторія НАН України

Дивно не те, що Всесвіт
безмежний, а те, що люди здатні
розкрити його таємниці
Б. Паскаль

Іван Антонович Климишин відомий науковець-астроном, педагог, талановитий популяризатор астрономії, має багато заслужених титулів та звань: доктор фізико-математичних наук, професор, академік Академії вищої школи України, заслужений працівник вищої школи, член Міжнародного астрономічного союзу, почесний член Української астрономічної асоціації, дійсний член Наукового товариства ім. Шевченка тощо. Його називають „прикарпатським Фламаріоном". Хоч це дуже почесна характеристика, та все ж неповна, бо К. Фламаріон здобув всесвітню славу лише як популяризатор астрономії, сам же не був фахівцем-астрономом.

Поле діяльності Івана Антоновича широке: за роки своєї наукової та педагогічної діяльності Іван Климишин створив наукову школу з питань радіацій космічної газодинаміки, ввів у теорію газодинамічний показник адіабати газовипромінювання, який названо „параметром Климишина", плідно досліджував зоряні атмосфери, зокрема ударні хвилі в атмосферах зір. У 1962–1970 рр. він був заступником директора Астрономічної обсерваторії Львівського університету імені Івана Франка, у 1970–1974 рр. завідував відділом астрофізики обсерваторії. Із серпня 1974 року він – професор кафедри теоретичної та експериментальної фізики Прикарпатського університету імені В. Стефаника, у 1993–1996 рр., завідував кафедрою теоретичної фізики цього університету, водночас із 1991р. – професор Івано-Франківської теологічної академії УГКЦ, а з 1996 р. очолює кафедру релігієзнавства цієї академії.

Широко відомий Іван Климишин як співець зоряного неба, неосяжного Всесвіту. Ніхто в Україні так талановито не розповідає про таємниці Всесвіту, не написав такої кількості книжок з астрономії – наукових, науково-популярних видань, підручників, навчальних посібників. І в кожному творі (більшість з них написано прекрасною українською мовою) лежить частинка таланту автора, закоханого у зоряне небо. Назви його творів дуже красномовні: „Перлини зоряного неба", „Календар природи й людини", „Атлас зоряного неба", „Астрономія вчора і сьогодні", „Небо нашої планети", „Релятивістська астрономія", „Нариси історії астрономії", „Открытие Вселенной", „Календарь й хронология" тощо. Всього майже п'ятдесят видань. Деякі з його книжок перекладено англійською, німецькою мовами, їх неоднарозово перевидавали.

Дуже цікаво розповідає І. Климишин про розвиток уявлення людства про Всесвіт від давніх часів до наших днів, про те, як змінювалися та уточнювалися масштаби Сонячної системи й Галактики, як змінювалися уявлення про фізичну природу планет, Сонця та зір, про джерела їхньої енергії та шляхи еволюції. Особливу увагу науковець зосереджує на сучасних відкриттях.

У Прикарпатті науковець відстежує усе нове, що відбувається в астрономії. Книжку „Астрономия наших дней" схвально зустріли читачі, її використовували викладачі вищих навчальних закладів, і

вчителі шкіл, а такі метри радянської астрономії, як академіки О.О. Михайлов, В.В. Соболєв, Е.Р. Мустель, В.П. Щеглов зазначили, що цю книжку треба доповнити та якнайшвидше перевидати (книжка вийшла у 1976, 1980, 1986 роках).

Однією з улюблених тем Івана Антоновича є хронологія. Він пише, що проблемами календаря цікавився з дитинства і в найскрутніші моменти життя якраз у продумуванні тих чи інших календарних питань знаходив заспокоєння та радість". Своїм професійним розумінням календарних проблем Іван Антонович щиро прагне поділитися із читачем. Він докладно з'ясовує астрономічні основи календаря, описує системи літочислення з давніх давен до наших часів. З'ясовує причини, що зумовлювали реформи календаря, зокрема запровадження „нового стилю", а також причину його несприйняття східними церквами. Згадки у давніх хроніках про певні астрономічні події дають змогу уточнити дати окремих подій світової історії.

Його „Календар і хронологія" має п'ять видань, кожне з яких доповнене та уточнене.

А ще Іван Климишин – людина великого неспокою за все, що робить сам, за все, що робиться в Україні. Кожна книжка дається йому великою напругою сил, бо дуже висока вимогливість автора до достовірності фактів і до самого слова. Інакше він працювати не вміє. Своє філософське кредо він висловив у книжці „Збагнути світ і себе в ньому (тим, хто задумається над місцем релігії у своєму світогляді)". Ця книжка написана 2001 року, разом з донькою Ольгою Климишин, яка за фахом психолог.

Звернімося до біографії ювіляра. Іван Антонович Климишин народився 17 січня 1933 року в селі Кутиськи Кременецького повіту (нині Лановецький район Тернопільської області). Про своє дитинство він згадує так: *„А воно у мене було гарним. Бо гарними, працьовитими були мої батьки Антон і Ксеня, дід Василь і бабця Степанида. Гарною була вся родина... Мав я і гарних учителів і добрих друзів. Та батько все ж таки мав особливий вплив на мене... Він був дуже кмітливою і цікавою людиною. ... Вижене влітку коні на пасовище, гуню розстелить, і хоч одним оком (він був сліпим на одне око з дитинства) дивиться й дивиться на зоряне небо. Запам'ятовував зорі та їхні конфігурації, залежно від пори року... Він звіряв час за зорями з точністю до 10 хвилин*".

„Усі ми родом з дитинства," – як сказав Сент-Екзюпері, тому, мабуть, спогади про нього залишаються гарними, хоч воно не завжди буває легким. Щоб навчатися у 9-му класі, Іванові треба було добиратися до райцентру в Ланівці, та вчитися там довелося йому лише півроку, бо у батька не було змоги утримувати сина в райцентрі. Іван змушений був екстерном складати іспити за середню школу у Львові. З вдячністю згадує Іван Антонович своїх учителів, які позичили йому гроші, щоб він зміг заплатити за право скласти іспити. Він успішно вступив до Львівського університету імені Івана Франка на фізичний факультет. На другому курсі університету почав працювати на півставки обчислювачем в астрономічній обсерваторії, бо з дому не міг взяти нічого.

Іван Антонович за характером оптиміст, хоча в житті багато настраждався. Одразу після закінчення університету у нього виявили „тліючий туберкульоз". Пробув у лікарнях майже три роки, „Коли я повернувся", – згадує Іван Антонович, – „із ялтинського санаторію з виявленою там каверною, у розмові з лікарем зауважив, що маю захищати кандидатську дисертацію. Вона каже: „Какую диссертацию? Положат тебя в гроб, на грудь – диссертацию, вот будет картина". А проте я її захистив, через 10 років – і докторську. І понад 50 книжок написав." Як зазначив в одному з інтерв'ю Іван Антонович, він це згадав не для того, щоб поплакатись. „Просто хочеться декого застерегти: друже, якщо ти і захворів, то не думай що світ (твій світ) уже валиться. Наш організм має великі можливості опиратися хворобам. Лише допоможи йому."

Іван Антонович Климишин – людина високих моральних та громадянських принципів. В одному інтерв'ю з журналістом із „Галичини" він сказав так: „Будемо сподіватися, що здолаємо всі труднощі і з гідністю займемо своє місце у світовій спільноті. Для цього кожному з нас слід частіше запитувати себе: „А чи не соромно нам за те, що маємо?"

На запитання журналіста „За чим тужить Ваша душа?", Іван Антонович відповів: „Відповідь дуже коротка. За нашою як спільноти ГІДНІСТЮ".

„Коли мене запитали: „Щоб я зробив насамперед, якби став Президентом?". Я відповів би: „Змусив би всіх своїх підлеглих-помічників вивчити напам'ять пролог до поеми „Мойсей" Івана Франка". Почуття національної гідності загост-

рено в Івана Климишина з дитинства, він дуже болісно переніс те, що з його батька знущався чужоземець. І високе почуття національної гідності науковець утверджує своїми справами, усім своїм життям.

Про це, зокрема, свідчать не лише його самовіддана праця, його титули та звання, його книжки, не лише те, ще його обрано Людиною року (1994 та 1995 рр.) за рішенням Американською Біографічного інституту в Кембриджі, урядова нагорода орденом „За заслуги" (3-го ступеня), а також і те, що його ім'ям названо малу планету 3653.

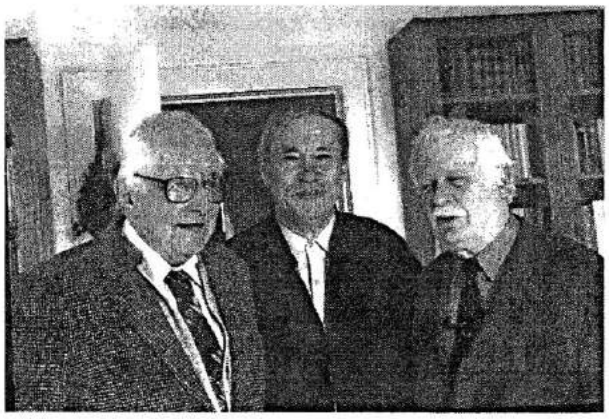
Своє ставлення до України Іван Климишин висловив віршованими рядками ще 1953 року:

„Щоденно, повсякчасно
Для неї працювати.
За честь її та гідність
Й життя своє віддати".

Дорогий Іване Антоновичу!

Вітаємо Вас із 70-річчям. Бажаємо Вам міцного здоров'я, радості, творчого натхнення.

Редколегія журналу
„Світ фізики"



Й. Тельтов, О. Проскура, М. Ахіллес (Берлін, 2003 р. Світлина Г. Ахіллес)

На відзначення сторічного ювілею Остапа Стасіва Наукове товариство ім. Шевченка та фізичний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка провели 16 січня 2003 року Міжнародну наукову конференцію „Фізика процесів у середовищах для оптичного запису інформації". У роботі конференції брали участь представники академічних інститутів та університетів Києва, Львова та інших міст України. З Німеччини прибув професор Манфред Ахіллес (Берлінський технічний університет), який передав вітання українським фізикам від німецьких колег та виступив з цікавою доповіддю „Стасів у Ґеттінґені". З привітаннями до учасників конференції звернулися ректор Львівського університету професор Іван Вакарчук та голова НТШ професор Олег Романів. Перше засідання конференції було присвячене висвітленню основних етапів наукової творчості Остапа Стасіва, теми другого і третього засідань – „Нові матеріали та принципи запису оптичної інформації" та „Голографія. Оптичне опрацювання інформації". Прийнято ухвалу про проведення наступної конференції пам'яті О. Стасіва за 5 років у Києві. А наприкінці січня цього ж року у Борщовицькій середній школі (Пустомитівський район, Львівської області) відбулося вшанування пам'яті Остапа Стасіва. Школярі та вчителів відворили на сцені нелегку життєву долю професора Стасіва. Дійство відбулося під гаслом: **„Я тут родився і за 100 років знову тут".**

Професор Я. Довгий виступає перед школярами Борщовицької середньої школи

Детальніше про Остапа Стасіва читайте в журналі „Світ фізики". 2002. № 4.

До дня пам'яті академіка Олексія Ситенка

ОЛЕКСІЙ СИТЕНКО

Ні сенс життя – це не хвала
Або до слави устремління.
Життя – це випиті до дна
Всі муки радості творіння

О. Ситенко

В Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова 10 лютого 2003 року відбувся науковий семінар, присвячений пам'яті видатного фізика академіка Олексія Ситенка.

З його іменем пов'язана низка нових напрямів теоретичної фізики плазми та теоретичної ядерної фізики. Серед його піонерських наукових результатів – дифракційна теорія ядерних процесів. У наукових джерелах вона дістала назву метод „Ситенка–Глаубера", її активно використовують для отримання інформації про ядерні взаємодії та структуру ядер з експериментальних даних. Запропонована О. Ситенком теорія розсіяння електромагнетних хвиль на флуктуаціях плазми, стала підґрунтям нового методу діагностики плазми, що значно розширює можливості вивчення плазми. Фундаментальні праці О. Ситенка стосуються підвалин теоретичної фізики й суттєво поглиблюють наукове розуміння фізичної природи різних плазмових та ядерних процесів.

Олексій Григорович Ситенко народився 12 лютого 1927 року у с. Нові Млини Батуринського району на Чернігівщині. У 1949 році він закінчив з відзнакою Харківський державний університет і продовжив навчання в аспірантурі під керівництвом академіка О. Ахієзера, 1952 року захистив кандидатську, 1959 – докторську дисертації. Згодом (1952–1959) працював асистентом та доцентом кафедри теоретичної фізики Харківського університету, 1960–1961 рр. – професором цієї кафедри. Працю в університеті О. Ситенко поєднував з науковою діяльністю в Харківському фізико-технічному інституті (1955–1959).

У 1961 році О. Ситенко перейшов працювати до Інституту фізики в Києві, де очолив новостворений відділ теоретичної ядерної фізики. Із 1963 року він – професор Київського університету ім. Т. Шевченка. З ініціативи академіка М. Боголюбова та професора О. Ситенка 1964 року на фізичному факультеті Київського держуніверситету ім. Т. Шевченка була створена кафедра теорії ядра та елементарних частинок, якою О. Ситенко керував майже десять років.

Із 1968 року Олексій Григорович працював в Інституті теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова НАН України: 1968–2001 рр. – завідувач відділу теорії ядра та ядерних реакцій; 1988–2002 рр. – директор цього Інституту.

У статті використано матеріали з книжки „Академік Олексій Ситенко до 75-річчя з дня народження". Упорядник О. В.Угрюмова. – Київ: ІТФ ім. М.М.Боголюбова НАН України, 2002. – 90 с. та поетичної збірки: Олексій Ситенко. Поетичні окрушини. – Київ: Видавничий дім „Академперіодика", 2003. – 116 с.

1967 року О. Ситенка обрали членом-кореспондентом, а 1982 року – дійсним членом АН УРСР. Він був академіком Національної Академії наук України, лавреатом Державної премії України, лавреатом премії ім. К.Д. Синельникова та премії ім. М.М. Боголюбова НАН України, заслуженим діячем науки і техніки України, іноземним членом Королівської Шведської академії наук (1991) та почесним членом Угорської академії наук (1997), членом Американського фізичного товариства та членом-кореспондентом Міжнародного Радіосоюзу, членом Національної Ради Конгресу Української Інтелігенції.

О. Ситенкові належать понад 400 наукових праць з різних розділів теоретичної фізики, він є автором та співавтором 17 монографій та навчальних посібників з ядерної фізики та фізики плазми, перевиданих у США та Англії. Його книжка „Теорія ядра" перша і найповніша монографія з цієї тематики, що видана українською мовою.

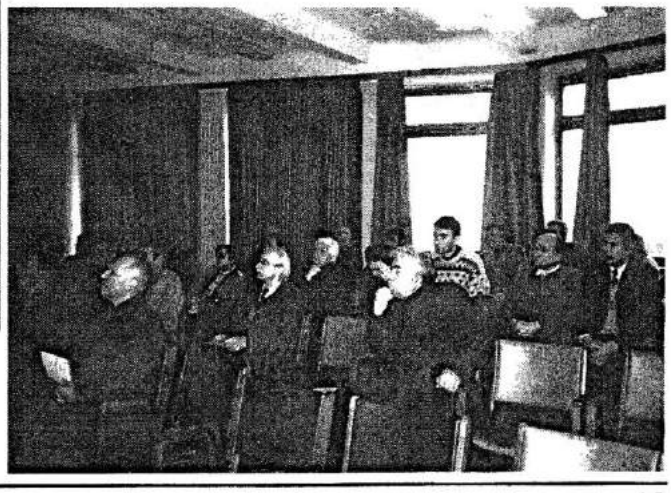
Велику наукову роботу О. Ситенко завжди поєднував з вихованням молодих науковців. За його підручниками, в основу яких покладено курси лекцій, які читав О. Ситенко, цілі покоління молодих теоретиків набували основ теорії ядра та ядерних реакцій, фізичної кінетики, електродинаміки плазми. Серед його учнів 21 доктор і 44 кандидати наук. Представники його наукової школи теоретичної фізики плідно працюють у провідних наукових центрах Києва, Харкова, Дніпропетровська, Одеси, Тбілісі, Москви, Ташкента, Софії, Праги, Ханоя, Парижа, Нансі.

Багато сил та енергії Олексій Григорович віддавав науково-організаційній роботі. Він був директором Інституту теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова, членом Бюро відділення фізики і астрономії НАН України, головним редактором „Українського фізичного журналу", директором Міжнародного центру фізики при Відділенні фізики і астрономії НАН України, членом секції фізики Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки.

О. Ситенко – яскрава, усебічно обдарована особистість. Він був великим знавцем української та світової культури. Широко обізнаний з літературною класикою – від давньої до найновітнішої. Глибоко розумівся на живописі, архітектурі. Його знанням з української та всесвітньої історії могли позаздрити фахівці. Загалом Олексій Григорович – це людина, з якою було цікаво обговорювати будь-які проблеми.

На вшануванні пам'яті Олексія Ситенка та відкриття погруддя вченому були присутні Перший віце-президент НАН України академік Анатолій Шпак, академік-секретар Відділення фізики і астрономії НАН України Антон Наумовець, директори інститутів НАН – академіки Ігор Юхновський, Ярослав Яцків, Михайло Бродин, Віктор Бар'яхтар, колектив Інституту, родина вченого.

Член-кореспондент НАН України нинішній директор Інституту теоретичної фізики Анатолій Загородній, відкриваючи зібрання, сказав: „Олексій Григорович усе своє життя присвятив науці. Його учні працюють не лише в Україні, а й в країнах далекого і близького зарубіжжя. 34 роки свого життя, тобто майже половину свого творчого життя Олексій Григорович віддав нашому Інституту теоретичної фізики. Він своїм талантом, своїми силами створював наш Інститут, його

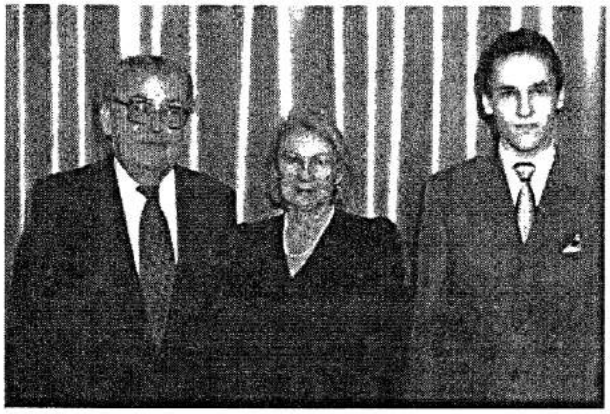


Під час наукового семінару в Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України (м. Київ, 10 лютого 2003 року)

науковий авторитет у світовій науці. Він дбав про нас, дбав про Інститут, дбав про науку і за те йому наша велика вдячність".

Академік Анатолій Шпак, згадуючи Олексія Ситенка, зазначив, що „це був великий учений, велика людина, великий син свого нарвідбулася презентація поетичної збірки науковця „Поетичні окрушини"оду, він визначний науковець у галузі теоретичної фізики і школа, яку він заснував, безумовно, розвиватиметься й далі. Ми пам'ятатимемо, як він багато зробив для науки, для України, для нас усіх з Вами."

Академік-секретар Відділення фізики і астрономії НАН України Антон Наумовець у своєму



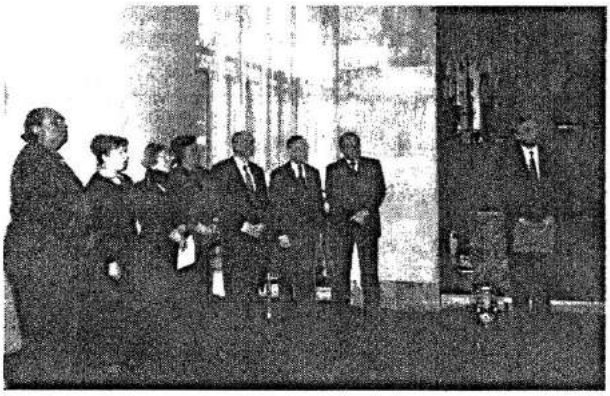
Олексій Ситенко з дружиною Жанною та сином Григорієм

виступі наголосив: „...Про що ми думаємо, коли відкриваємо пам'ятники, чи згадуємо, чи посилаємося в наших працях на видатних людей, до яких, безумовно, належить і Олексій Ситенко. Ми думаємо, про те, яку роль вони відіграли у розвитку науки, у житті кожного з нас, у розвитку нашої держави. Згадуючи про їхню долю, ми самі стаємо трохи кращими... І коли я згадую про Олексія Григоровича, то думаю насамперед про те, що на його долю випало дуже нелегке життя. Він народився 1927 року, його дитинство припало на 30-ті роки, які були надзвичайно важкими для всього народу, особливо для України. Він вижив у ті роки. Далі почалася Друга світова війна – наступне, трагічне й найважче випробування. Йому пощастило, і він також вижив. Далі були важкі повоєнні роки, коли він віддався навчанню і почав сам творити науку. Це був час, коли люди мріяли про двохсотграмову пайку хліба, про те, що на себе одягнути, як вижити у цих умовах – він подолав і це. І почав він генерувати нові ідеї, в результаті став визнаним фізиком не лише в Україні, а й далеко за її межами... Можемо сказати, як важко склалося його родинне життя, коли перша дружина передчасно пішла з життя, і він залишився наодинці зі своїм сином. І навіть у ті важкі для науки часи, він також відбував драму того часу і вболівав за розвиток України, за те, щоб нормально могла працювати і творити українська інтелігенція. Ми не можемо не пригадати, що він написав відомого листа, через який натерпівся багато чого у своєму житті.

Врешті-решт Україна здобула омріяну незалежність. Олексій Григорович був серед тих людей, які чекали цього особливо, і все робили, щоб вона повстала. Настали драматичні часи, коли держава, на жаль, перестала приділяти належну увагу науці. 1988 року, ставши директором якраз у ті найважчі часи, які випали на долю науки, інститутів нашої Академії наук, він ніс на своїх плечах тягар відповідальності зовсім донедавна. Я хочу сказати, що в його житті було й немало щасливих сторінок, тобто перефразовуючи відому пісню, на його життєвому шляху на тому шматку старого полотна було виткано багато, не лише чорним, а й червоним кольором. Я хочу пригадати, що йому пощастило отримати блискучу освіту, навчатися у видатних учителів – Харківській школі, і сам будучи талановитою людиною, не змарнував свого таланту, а цей талант був виплеканий видатними вчителями, тому й він став визначним ученим. У родинному житті йому також пощастило, йому на допомогу прийшла друга дружина Жанна Григорівна, яка тривалий час була йому найкращою подругою і зараз вірно зберігає пам'ять про нього. Щастя було і в тому, що незважаючи на це, він дочекався часів незалежності України, він створив величезну наукову школу, завоював пошану своїх учнів, які не для чужого ока, а щирим вілінням своєї душі шанують його пам'ять. Ми маємо брати приклад з таких людей. Нехай образ цих великих людей, які допомагають нам вистояти у ці важкі часи, допомагають зберегти чи здобути ці найвищі моральні якості, які притаманні таким людям. Пам'ять про цих великих людей зберігатиметься в їхніх працях і далі розвиватиметься велика наука Фізика."

Академік Ігор Юхновський, згадуючи Олексія Ситенка, висловив занепокоєння впровадженням

наукових досягнень у виробництво: „Я наведу приклад з Фінляндії. Ця держава займає перше місце у світі за доходами на душу населення, перше місце в світі соціального суспільства, де



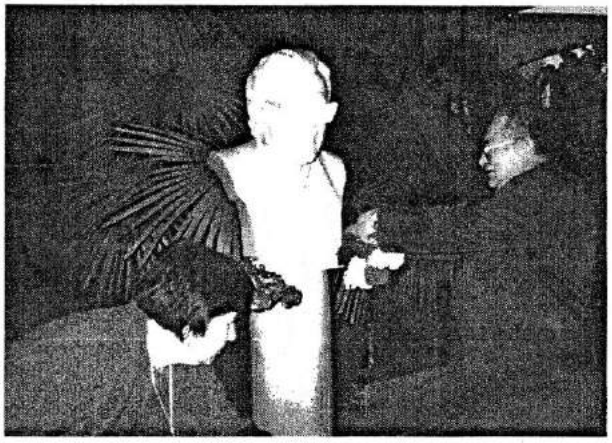
Під час вшанування пам'яті та відкриття погруддя академіка Олексія Ситенка

немає мафіозних структур, перше місце в світі з продуктивності праці, перше місце в світі з вироблення національного продукту тощо. У цій північній країні мешкає шість мільйонів людей, вона має лісисту, заболочену місцевість, Фінляндія вижила, об'єднавши народ шляхом максимального впровадження наукових напрацювань. Як у цьому контексті має виглядати теоретична фізика, мені важко сказати, але я глибоко переконаний, ті, хто дуже добре знають свій предмет, зуміють впровадити його напрацювання у виробництво. Я закликаю фізиків-теоретиків показати приклад фізикам-експериментаторам, як треба впроваджувати фізику у виробництво.

Олексій Григорович був моїм другом. Після того, як ми стали академіками, ми йшли поряд. Він керував Інститутом теоретичної фізики, яким завжди керували видатні люди. М. Боголюбов – видатний науковець, визнаний в усьому світі, О. Давидов і О. Ситенко... Кожен з них був великою людиною, був великим у науці, зробив вагомий внесок у її розвиток. Усі вони працювали для України, віддали свої сили, талант, свою духовність для науки.

Ми стоїмо перед погруддям цієї великої людини – Олексія Ситенка. Я дякую директорові цього інституту Анатолієві Глібовичу, що він так гарно організував цей захід, це дуже добре характеризує його як директора, як учня, який поважає свого учителя, свого попередника..."

До річниці пам'яті видатного фізика відбулася презентація його поетичної збірки „Поетичні окрушини", у передмові до якої Іван Драч написав:



Покладання квітів до погруддя академіка Олексія Ситенка

„...Що це було? Звичайна собі забавка видатного фізика, який вмів писати і вірші, чи це була потреба душі, якій не вистачало перебування лише у сфері чистої науки. Мені видається, що це було останнє – занадто широким і непростовимірним був цей прекрасний чоловік – академік Олексій Ситенко, український патріот і всесвітньо відомий фізик, почесний член багатьох іноземних академій, людина, глибоко закорінена в проблеми рідної землі."

Народе мій! Прокинься підведися,
Повстань з колін. Візьми до рук кермо...

Вкраїно! Мій Схід, моя Північ,
І Захід і Полудня жар,
Воскресніть, прокиньтесь, звільнившись,
Від розбрату і чвар...

Помер Олексій Григорович Ситенко 11 лютого 2002 року у м. Києві.

Великий фізик все життя переживав за майбутнє науки, за долю України.

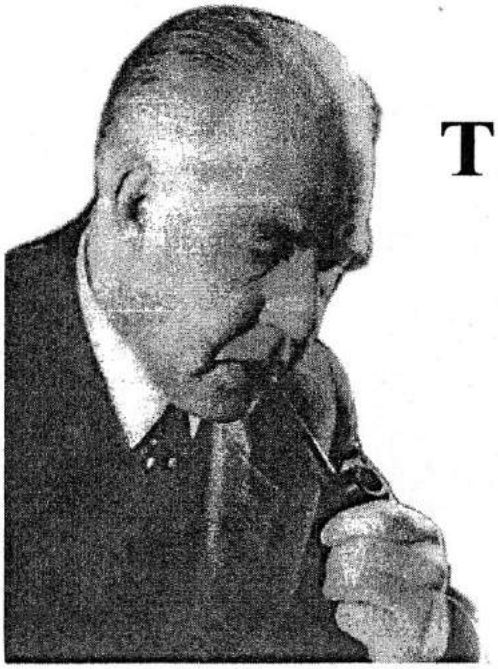
„І я умру, нічого не лишивши
Моїй многостраждальній Україні..."

А він залишив...Залишив великий науковий спадок, своїх учнів, творчий колектив Інститут теоретичної фізики, свої вірші, що послужить і майбутнім науковцям, і Україні.

Тож будьмо гідні його пам'яті!

Галина Шопа

До 90-річчя атомної моделі Бора



ТРІУМФ ЛЮДСЬКОЇ ДУМКИ

„Ідеї Бора про основні закони атомної фізики зробили на розвиток цієї науки такий величезний вплив, який рідко випадає на долю однієї людини..."

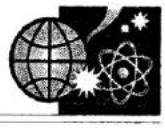
Данський фізик Нільс Генрік Давид Бор народився 7 жовтня 1885 р. у Копенгагені й був другим з трьох дітей Крістіана Бора й Елен Адлер. Його батько був професором фізіології у Копенгазькому університеті, а мати походила з багатої єврейської сім'ї, відомої у банківських, політичних та інтелектуальних колах. Їхній дім був центром жвавих дискусій з актуальних наукових і філософських питань. Там часто дискутували між собою відомі академіки: філософ Г. Гефдинг, біолог Х. Бор, лінгвіст В. Томсен і фізик Х. Хрістіансен. Синам Бора, Нільсові і Гаральдові, дозволяли бути присутніми на цих зборах. Діти уважно слухали і поглинали думки великих науковців. Не кожній дитині таланило слухати водночас таких видатних людей! Батьки зуміли дати дітям таке виховання, яке спонукало не лише до розуміння високих культурних і людських цінностей, а й водночас відкривало їм простір для їхнього самостійного розвитку. Брати були дуже дружніми, вони все життя турбувались один про одного. Змалку Нільс любив все ремонтувати, вмів працювати на токарному верстаті, який йому подарував батько. Це пригодилось йому у майбутньому.

Нільс навчався у Гаммельхольській граматичній школі (Копенгаги). Він був не найкращим учнем, але був старанним і працьовитим.

Нільс захоплювався історією, іноземними мовами, любив поезію і добре декларував вірші. Як писав згодом його друг Юргенсен: „Нільс мав особливий талант до цього мистецтва і завжди вибирав дуже тонкі за стилем і своєрідністю вірші. Він читав повільно, вдумливо, ніби вимовляв молитву". У старших класах у Нільса виявились здібності до фізики й математики. Він навіть висловлював свої зауваження щодо підручника з фізики.

Н. Бор 1903 р. успішно закінчив школу і вступив до Копенгазького університету, щоб стати фізиком. У 1905 р. Данське королівське наукове товариство оголосило конкурс на найкращу наукову працю з фізики. Треба було визначити поверхневий натяг, досліджуючи коливання струменя рідини. Н. Бор брав участь у цьому конкурсі, і журі, високо оцінивши експериментальні та теоретичні здобутки його праці, нагородило його золотою медаллю товариства.

У 1907 р. Н. Бор закінчив університет і почав працювати над магістерською дисертацією, а 1909 р., отримавши ступінь магістра, продовжив працювати над докторською дисертацією. Як і магістерська, його докторська праця була присвячена електронній теорії металів, яку він успішно захистив у травні 1911 р. У дисертації він відзначив неспроможність класичної електронної теорії пояснити магнетні явища в металах. Отримавши ступінь доктора наук, Н. Бор поїхав до Кембриджського університету до Дж. Дж. Томсона на річне наукове стажування. Дж. Томсон, який був відомий своїм даром безпомилково знаходити таланти й скеровувати їх у правильному напрямку (троє його учнів стали Нобелівськими лавреатами, двадцять двоє – членами Лондонського королівського товариства, майже п'ятдесят – керували кафедрами у різних університетах світу), не виявив зацікавлення до дисертації Н. Бора й висновків, що там містилися. Дж. Томсон просто не любив читати, не стежив за новинами у



науковій літературі. Він вважав, що розум науковця працює продуктивніше, коли він міркує, ніж коли читає. Не склались також їхні особисті стосунки: Дж. Томсон був прихильником класичної фізики, а Н. Бор шукав нових шляхів, сам ще цього не усвідомлюючи. У той час учений познайомився з Е. Резерфордом та зацікавився його дослідженнями радіоактивності елементів і будови атома у Манчестерському університеті. Отримавши згоду Дж. Томсона та Е. Резерфорда, Н. Бор на початку 1912 р. переїхав на стажування до Манчестера.

Резерфорд разом з своїми учнями Марсденом і Гейгером, досліджуючи проходження α-частинок через тонкі шари різних металів, виявили частинки, відбиті в протилежному напрямку. Для пояснення цього несподіваного явища треба було передбачити, що в атомі є ділянки сильного поля, яке здатне повернути енергетичні α-частинки назад. Резерфорд припустив, що в центрі атома міститься ядро малого розміру, яке має додатний заряд, що за величиною дорівнює сумі зарядів електронів. Що більше, він розрахував, як будуть розсіюватись частинки таким ядром. Його формула, що описувала розподіл інтенсивності розсіяних α-частинок за кутами, з великою точністю збігалася з експериментальними результатами. 1911 р. Резерфорд запропонував свою модель атома. Навесні 1912 р., коли Н. Бор приїхав до Манчестера, всі працівники лабораторії Резерфорда були зайняті пошуком підтвердження чи заперечення цієї моделі. Він швидко заглибився у наукові проблеми, що хвилювали Е. Резерфорда та його колег, які переважно були експериментаторами, та взяв на себе роль теоретика. Н. Бор часто ділився з колегами своїми думками. У лабораторії Резерфорда Борові легко працювалось.

Н. Бор теж схилявся до того, що вся маса атома сконцентрована у ядрі, має позитивний заряд. Але в атомі не може бути рівноваги, якщо негативно заряджені електрони і ядро не перебувають у рівновазі. Цей рух здійснюється по стабільних орбітах різного радіуса. У дискусіях з Е. Резерфордом й іншими науковцями Н. Бор опрацьовував ідеї, які привели його до створення власної моделі будови атома. Вже тоді зародилась дружба між двома великими фізиками, яка продовжувалась до кінця життя Резерфорда.

Восени 1912 р. Н. Бор повернувся до Копенгаги та обійняв посаду асистент-професора Копенгазького університету. Він читав курс лекцій з основ термодинаміки, Бор був добрим лектором, умів добре розтлумачити найскладніші питання.

Того ж року він одружився з Маргарет Нерлунд, донькою аптекаря. Вони мали шестеро синів, один із яких, Оге Бор, також став відомим фізиком і Нобелівським лавреатом. Ганс став лікарем-ортопедом, Ерік – інженером-хеміком, а наймолодший – адвокатом. Влітку 1934 р., на очах у батька, загинув його найстарший син Хрістіан, якому було всього 19 років.

Упродовж наступних двох років Н. Бор працював над проблемами, які виникали у зв'язку з моделлю атома Резерфорда. За цією моделлю атом складається з масивного позитивно зарядженого ядра, навколо якого обертаються негативно заряджені електрони. Ця модель ґрунтувалась на експериментальному дослідженні розсіювання α-частинок та уявленнях, які мали дослідне підтвердження у фізиці твердого тіла, однак приводила до важко вирішуваного парадоксу. За класичною електродинамікою, електрон, що обертається навколо ядра, мусить постійно втрачати енергію, віддаючи її у вигляді світла або іншої форми електромагнетного випромінювання. Оскільки електрон втрачає енергію, він має наближатися по спіралі до ядра і, врешті-решт, впасти на нього, що призвело б до руйнування атома. Насправді ж атоми вельми стабільні. Н. Бор відчував особливість цього очевидного парадоксу класичної фізики, оскільки це нагадувало труднощі, з якими він зустрівся, працюючи над дисертацією. Він вважав, що вирішення цього парадоксу слід шукати у квантовій теорії.

М. Планк 1900 р. показав, що електромагнетне випромінювання абсолютно чорного тіла йде не суцільним потоком, а дискретними порціями енергії, квантами. А. Айнштайн 1905 р. успішно застосував квантову модель для пояснення фотоефекту і суттєво доповнив погляди на природу світла. Спираючись на квантову теорію, яка вже довела свою життєздатність, Н. Бор запостулював, що електрони, перебуваючи на деяких дозволених орбітах, не випромінюють енергії, а випромінюють – лише під час переходу на іншу дозволену орбіту, причому енергія, яка випромінюється, дорівнює різниці енергій на цих стаціонарних орбітах. Ідея, що електрони в атомі перебувають лише на стаціонарних орбітах, була революційною, оскільки, за класичними уявленнями, їхні орбіти

могли розташуватися на будь-якій відстані від ядра, подібно до того, як планети можуть, у принципі, обертатися по будь-яких орбітах навколо Сонця.

Праця Н. Бора була поділена на три частини (перша мала назву „Зв'язування електронів додатнім ядром", друга – „Системи, які мають лише одне ядро" і третя – „Системи з деякими ядрами") і була опублікована у „Філософських записках" у вересні–листопаді 1913 р. Науковець стверджував, що у стійкому стані атома електрон, рухаючись навколо ядра по певній орбіті, енергії не випромінює. Зміна енергії пов'язана з переходом атома з одного стану в інший. Випромінювання відбувається тоді, коли електрон переходить на одну із внутрішніх орбіт. У випадку переходу електрона на зовнішню орбіту енергія поглинається. Випромінювання і поглинання відбувається не неперервно, а окремими порціями – квантами. Теорія Бора стала відомою як модель атома Бора. Хоча його теорія ґрунтувалась на постулатах і здавалась дещо містичною, вона успішно пояснила спектр випромінювання атома водню і давала тлумачення атомних спектрів загалом.

Не всі фізики одразу позитивно сприйняли теорію Бора. У наукових колах точилися гарячі дискусії, на науковця посипались як схвальні, так і скептичні, навіть негативні відгуки. Це продовжилось і під час обговорення виступу Н. Бора на засіданні Британської асоціації розвитку науки, куди разом з відомими науковцями запросили і Бора. Це можна пояснити тим, що наприкінці XIX сторіччя фізика переживала кризу і науковці не знали, як з неї вийти. Здавалось, що все відомо, залишилось лише дещо уточнити. Однак була відкрита радіоактивність, рентгенівські промені, електрон. І перед дослідниками знову постали великі завдання як усе зрозуміти. Відкривались нові перспективи наукових досліджень. Сформульовані Бором два постулати – про існування стаціонарних станів і про зв'язок квантових переходів з випромінюванням – виявились справедливими не лише для простих, а й для складних атомів, для молекул і для кристалів, з одного боку, і для атомних ядер, з іншого.

Отримати кафедру в рідному університеті Борові було складно, він читав лекції студентам-медикам і не мав змоги проводити подальші наукові дослідження. Е. Резерфорд запропонував йому посаду лектора в Манчестерському університеті, яку Бор займав з 1914 р. Тоді ж почалася Перша світова війна, і науковець, взявши відпустку на рік, разом з дружиною, ризикуючи життям вирушив до Англії. У лабораторії Резерфорда не вистачало працівників. Сам Резерфорд виконував доручення уряду, отже, в обов'язки Бора входило читати лекції з термодинаміки, кінетичної, електромагнетної та електронної теорії. Водночас він проводив експериментальні дослідження, а також працював над теорією будови атома і теорією гальмування заряджених частинок. У Манчестері Н. Бор працював ще два роки. Навесні 1916 р. у Копенгазькому університеті спеціально для Бора вирішили ввести посаду професора теоретичної фізики і науковець з дружиною повернувся до Копенгаги, де продовжував працювати над будовою атома. Н. Бор 1917 р. очолив Данське фізичне товариство.

У 1920-х рр. борівську модель атома замінила складніша квантово-механічна модель. Однак атомна модель Бора була містком між класичною й новою квантовою фізикою.

У Копенгазі Н. Бор 1920 р. заснував Інститут теоретичної фізики, який був збудований з великими труднощами: коштів на будівництво та оснащення лабораторій не вистачало. Резерфорд і Зоммерфельд звернулись до Карлсберзького фонду з проханням виділити дотацію на завершення будівництва інституту, обґрунтувавши важливість такого закладу для Данії, де б „дослідники з усього світу збирались для спеціальних досліджень у Копенгазі в Інституті атомної фізики і втілювали загальнолюдські ідеали". До Інституту відразу ж потягнулось багато талановитих науковців. Там працювали такі вчені, як Дарвін, Дірак, Фаулер, Хартрі, Мот, Ґамов, Ландау та інші. Вони обговорювали результати досліджень, обмінювались своїми виступами, статтями, цікавились результатами наукових досліджень у різних країнах. В. Паулі писав: „Здебільшого науковці працюють самостійно. Щодо Нільса Бора, то він завдяки особистому впливові, контактував з величезною кількістю людей і дуже швидко Інститут у Копенгазі став „столицею атомної фізики". Нільс Бор керував цим Інститутом до кінця свого життя (за винятком періоду Другої світової війни, коли змушений був залишити Данію). Його науковий колектив названо копенгазькою групою. З цією назвою він ввійшов в історію фізики.

У цей час Н. Бора запрошували багато університетів Европи. Його лекції мали успіх, незважаючи на його бубнявий голос, складні формулювання і не найкращу англійську вимову. Кембріджський університет запропонував науковцеві видрукувати окрему книжку його лекцій.

Інститут Бора був провідним науковим центром у роки становлення квантової механіки (математичний опис хвильових і корпускулярних аспектів матерії й енергії). Його внесок у розвиток цієї науки згодом назвали копенгазькою інтерпретацією квантової механіки. Копенгазька інтерпретація виходить з того, що жорсткі зв'язки причини і наслідки, знайомі нам у макроскопічному світі, незастосовні до внутрішньоатомних явищ, які можна тлумачити лише ймовірнісно. Наприклад, не можна навіть у принципі заздалегідь передбачити траєкторію електрона; замість цього можна вказати ймовірність кожної з можливих траєкторій.

Н. Бор також сформулював два фундаментальні принципи, які вплинули на розвиток квантової механіки: принцип відповідності й принцип доповнюваності. Принцип відповідності стверджує, що квантово-механічний опис макроскопічного світу має відповідати його описові у межах класичної механіки. Принцип доповнюваності стверджує, що хвильовий і корпускулярний опис речовини й випромінювання є взаємозаперечними властивостями, хоча обидва ці уявлення є важливими частинами розуміння природи. Хвильова чи корпускулярна поведінка може виявитися в експерименті певного типу, але змішана поведінка не спостерігається ніколи. „Прийнявши співіснування двох інтерпретацій, які очевидно суперечать одна одній, ми змушені обходитись без наочних моделей", – таку думку висловив Бор у своїй Нобелівській лекції. Маючи справу зі світом атома, сказав він, „ми маємо бути скромними в наших вимогах і задовольнятися концепціями, які є формальні в тому сенсі, що в них відсутня звична нам візуальна картина".

Альберт Айнштайн і Нільс Бор

Через багато років А. Айнштайн писав: „*Мені завжди здавалось дивом, що цієї хиткої і повної суперечностей основи було достатньо, щоб дозволити Борові, людині з геніальною інтуїцією і тонким відчуттям, знайти важливі закони спектральних ліній та електронних оболонок атома, включаючи їхнє значення для хемії. Це здається мені дивом і тепер. Це – найвища музикальність у галузі думки*".

Нільс Бор одержав Нобелівську премію з фізики 1922 р. „за внесок у дослідження будови атома". Нобелівська лекція Бора мала назву „Будова атома".

В Інституті Бора тривалий час працював В. Паулі, який подружився з великим науковцем. Принцип Паулі ґрунтувався на теорії Бора про будову атома. Бор відразу високо оцінив працю Паулі. Він зрозумів, що це важливий закон природи, який матиме величезне значення у подальшому розвитку фізики.

Восени 1923 р. Н. Бор відправився до Америки. Він побував у багатьох американських університетах, де познайомився з видатними фізиками – Майкельсоном, Ленгмюром, Комптоном і іншими.

У 1927 р. відбувся Міжнародний фізичний конґрес, на якому виступив Н. Бор з доповіддю „Квантовий постулат і новий розвиток атомної теорії". У жовтні того ж року відбувся V Сольвеєвський конґрес, де вперше на ньому виступив Бор. Ще довго відомі фізики сперечались з Бором щодо його поглядів. Наприклад, його дискусії з Айнштайном тривали тридцять років.

На початку 1930-х років фізика переживала період відкриттів, одна ідея підтверджувала іншу. У 1932 р. була запропонована протон-нейтронна модель ядра (модель Іваненка-Гайзенберга-Майорани), за якої, атомне ядро складається із протонів і нейтронів. Того ж року відкрили дейтерій, Ірен Кюрі і Фредерік Жоліо-Кюрі відкрили штучну радіоактивність. У 1930-х рр. Н. Бор звернувся до ядерної фізики. Тоді ж Е. Фермі відкрив ефект сповільнення нейтронів, пропускаючи їх через парафін або воду, і встановив, що такі нейтрони легко захоплюються ядрами. Використовуючи повільні електрони, Е. Фермі одержав нові радіоактивні ізотопи. Полюючи за трансурановими елементами, О. Ган та Ф. Штрассман відкрили поділ ядер урану під дією нейтронів. Н. Бор разом із іншими науковцями запропонував краплинну модель ядра і розробив теорію його поділу. За цією теорією поведінка нестабільного важкого атомного ядра порівнюється з краплиною рідини, яка ділиться. Пояснюючи суперечність, чому уран утворює трансуранові елементи, або ділиться, Н. Бор встановив, що один з ізотопів урану (уран-235) є розщеплюваним матеріалом. Це відкриття вказало шлях, як можна вивільнити величезну ядерну енергію. Ця лавина наукових відкриттів відбувалась напередодні війни.

Н. Бора запросили прочитати лекції в Японії та Китаї. Науковець з великим успіхом прочитав лекцію у багатьох університетах та разом з сім'єю ознайомився з культурними та історичними надбаннями цих країн. Повертаючись на батьківщину Н. Бор відвідав Москву, Ленінград та побував у Харкові (1934), де три тижні щодня працював з теоретиками у Харківському фізико-технічному інституті, який тоді був центром теоретичної фізичної науки. Згодом ще декілька разів Н. Бор відвідував СРСР.

Наближалась Друга світова війна і багато фізиків з різних країн знайшли притулок у Копенгазі, працюючи в Інституті Бора. У 1939 р. Н. Бор хотів поїхати до США на три-чотири місяці на посаду позаштатного працівника в Інститут вищих досліджень у Прінстоні. Він виступив з доповіддю у Вашингтонському університеті про зіткнення ядер, які можуть довести до ядерного вибуху. У лютому він написав статтю „Резонансні явища в розщепленні урану і торію і поділ ядер". У червні вийшла його з Вілером грунтовна праця про „Механізм поділу ядер".

У 1940 р. Данія капітулювала. Ще півтора року Бор працював в Інституті, хоча всі іноземні фізики залишили Данію. Науковець займався дослідженням поділу ядра, написав декілька праць, які відіслав до Америки. Вони були надруковані в журналі „Physical Review" 1940 р. Понад три роки науковець був відірваний від світової науки. Він не знав про стан досліджень урану американськими та англійськими фізиками.

На початку 1943 р., попереджений про неминучий арешт, Н. Бор, скориставшись запрошенням особистого радника Черчіля з питань науки, фізика Ф. Ліндемана працювати в Англії, відразу ж погодився. Разом із сином Оге він нелегально перебрався до Швеції, а звідти – у порожньому бомбовому відсіку британського літака – перелетів до Англії. Н. Бор разом із сином працював в Англії в університетських лабораторіях і на експериментальних заводах всього три місяці.

Наприкінці 1943 р. батько з сином переїхали до США і відразу ж приступили до роботи над Мангеттенським проєктом у засекреченому місті Лос-Аламос (штат Нью-Джерсі). Над проєктом у цьому місті працювали тисячі науковців, інженерів, робітників. Там працювали такі видатні фізики, як Фермі, Бете, Чедвік, Фріш, Комптон, Сцілард, Вайскопф, Фейнман, та багато інших. Н. Бор ще раніше зробив так багато для того, щоб людина оволоділа ядерною енергією, що без його безпосередньої праці в Лос-Аламосі могли б обійтися. Але він знайомився з ходом робіт, брав участь у дослідженнях та дискусіях.

Успішне завершення Мангеттенського проєкту примусило науковця задуматись над наслідками застосування атомної бомби та гонкою ядерних озброєнь у майбутньому. Він зустрічався з президентом США Ф. Рузвельтом і прем'єр-міністром Великобританії В. Черчілем, намагаючись переконати їх бути відкритими щодо нової зброї, а також наполягав на встановленні системи контролю над озброєннями у повоєнний період. Зусилля Н. Бора та інших науковців були марні: політики не прислухались до їхньої думки. 16 липня 1945 р. – було зірвано першу атомну бомбу, 6 серпня – скинуто атомні бомби на японські міста Хіросіму, 9 серпня – на Нагасакі. Людство зазнало величезних втрат і всі науковці з Лос-Аламосу почували себе винними. Н. Бор звертається до преси, де закликає до міжнародного контролю за ядер-

ною енергією, до відкритої інформації та міжнародного співробітництва. Він писав: *„Було б добре якби ми займались лише науковими дослідженнями, не маючи іншої мети, окрім як розширення меж нашого розуміння природи, частиною якої є ми самі."* На його думку, якщо наука і принесла людству біду, то вона сама ж мусить вказати шляхи її подолання. Інакше вона не була б наукою! Він допомагав іншим науковцям зрозуміти, що планету чекає позитивне майбутнє. Він був одним із рушіїв створення політичного руху науковців.

Після війни 1945 р. Н. Бор повернувся до Інституту теоретичної фізики. В Інституті панувала атмосфера доброзичливості, невтомного пошуку істини та товариські дискусії. Він був одним із засновників Європейського центру ядерних досліджень (ЦЕРН) і брав активну участь у формуванні його наукової програми. Він також був одним із засновників Нордичного інституту теоретичної атомної фізики (Нордіта) у Копенгазі – об'єднаного наукового центру Скандинавських держав, який згодом перетворився на провідний науковий центр з дослідження атомного ядра.

У 1950-ті рр. Н. Бор виступав у пресі, відстоюючи мирне використання ядерної енергії та попереджав про небезпеку ядерної зброї. 1950 р. він звернувся з відкритим листом до ООН, повторивши свій заклик воєнних років до міжнародного контролю над озброєннями. За свої зусилля в цьому напрямі він отримав першу премію „За мирний атом", яку заснував 1957 р. фонд Форда. На засіданні Данського королівського товариства наук король Фредерік IX нагородив Н. Бора вищим данським орденом (орден Слона) за те, що науковець прославив Данію. Фізик пильно стежив за розвитком фізики. Він 1954 р. закінчив працю про проходження заряджених частинок через речовину. Це була його остання наукова праця з фізики. Наступні праці стосувалися філософії, біофізики і політики.

Навесні 1955 р. з ініціативи ООН відбулася Міжнародна женевська конференція „Атом для миру", в якій брали участь представники 72 країн світу. Нільс Бор виступив із вступним словом „Фізика і людство".

На святкуванні 70-річчя Нільса Бора король Данії вручив науковцеві орден Даннеброга 1-го ступеня за видатні заслуги перед наукою. Уряд Данії та Данська академія наук заснували золоту медаль Бора з його профільним зображенням, якою мали нагороджувати видатних фізиків. Наприклад, такою медаллю 1964 р. нагороджено академіка Петро Капицю.

У 1955 р. Н. Бор залишив посаду професора Копенгазького університету, але керував ще Інститутом теоретичної фізики. В останні роки свого життя він працював у галузі квантової фізики й цікавився молекулярною біологією.

Н. Бор був високого зросту, з великим почуттям гумору, відомий своєю гостинністю. „Дружня цікавість до людей, яку виявляв Бор, зробила особисті відносини в Інституті такими, що багато у чому нагадували відносини у сім'ї", – згадував Дж. Кокрофт у біографічних мемуарах про Бора. У студентські роки Нільс разом з братом Гаральдом, який згодом став видатним математиком, були відомі як футболісти. Вони були включені до данської збірної, яка в Англії на Олімпійських іграх 1908 р. завоювала срібні медалі. У старшому віці Н. Бор захоплювався лижним та вітрильним спортом, їздив на велосипеді. Дуже любив читати, захоплювався поезією, а також мистецтвом, особливо живописом.

А. Айнштайн якось сказав: *„Що дивовижно приваблює в Борі як науковцеві-мислителеві, то це рідкісне поєднання сміливості й обережності; мало хто володів такою властивістю інтуїтивно схоплювати суть прихованих речей, поєднуючи це із загостреним критицизмом. Він, без сумніву, є одним із найвеличніших розумів нашого сторіччя"*.

Крім Нобелівської премії, Н. Бор одержав нагороди багатьох провідних наукових товариств, а саме медаль М. Планка Німецького фізичного товариства (1930) і медаль Коплі Лондонського королівського товариства (1938). Він мав почесні наукові ступені провідних університетів світу: Кембридж, Манчестер, Оксфорд, Едінбург, Сорбонна, Прінстон, Макгіл, Гарвард... Н. Бор був президентом Данської королівської академії наук з 1939 р. до кінця життя і членом понад двох десятків академій та наукових товариств, зокрема й іноземним членом АН СРСР з 1929 р.

Нільс Генрік Давід Бор помер 18 листопада 1962 р. у своєму будинку у Копенгазі внаслідок серцевого нападу. Ще 16 листопада він головував на засіданні Академії наук, незмінним президентом якої був 24 роки.

Галина Шопа

Теоретичні завдання III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики Львів, 2003 р.

8-й клас

Задача 1.

Аеростат об'ємом 20000 м^3 наповнено воднем, густина якого $\rho_{H_2} = 0{,}09$ кг/м^3. Підіймальна сила дорівнює 25000 Н. На скільки вона зменшиться, якщо аеростат наповнити гелієм ($\rho_{He} = 2\rho_{H_2}$)? Знайдіть масу аеростата (без наповнюючого газу). Вважайте $g = 10$ м/с^2, густина повітря $\rho_{пов} = 1{,}29$ кг/м^3.

Задача 2.

Із пункту A кільцевої траси довжиною 24 км виїхав велосипедист, а через 20 хв у тому ж напрямку виїхав мотоцикліст. Через 10 хв після виїзду він наздогнав велосипедиста, а ще через 30 хв нагнав його вдруге. Визначіть швидкість велосипедиста та мотоцикліста.

Задача 3.

Визначіть роботу по підійманню ланцюга, що лежить на підлозі, взятого за один кінець. Ланцюг піднято на таку висоту, що відстань нижнього його кінця до підлоги дорівнює довжині ланцюга. Довжина ланцюга $L = 2$ м, його маса $m = 5$ кг.

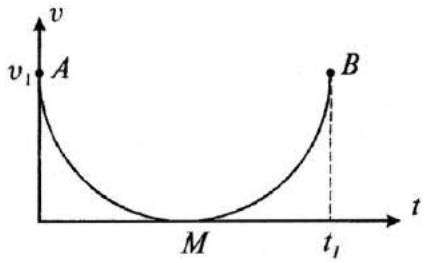
Задача 4.

До якої температури потрібно охолодити шматок алюмінію, щоб після опускання його у воду з температурою 0 °С він піднявся з дна завдяки обмерзанню льодом? Відповідь обгрунтуйте.

Густина алюмінію $\rho_а = 2700$ кг/м^3, води – $\rho_в = 1000$ кг/м^3, льоду – $\rho_л = 917$ кг/м^3, питома теплота кристалізації води $\lambda = 334000$ Дж/кг, питома теплоємність алюмінію $c_а = 880$ Дж/(кг · °С).

Задача 5.

Залежність модуля швидкості υ першого тіла від часу зображається дугою півкола AMB. Впродовж часу t_1 це тіло пройшло такий шлях, як і друге тіло, що рухалось із постійною швидкістю $\upsilon_2 = 5$ м/с. Знайдіть початкову швидкість υ_1 першого тіла.



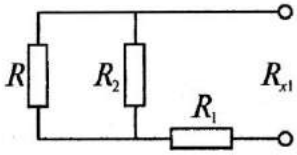
9-й клас

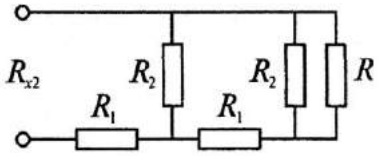
Задача 1.

Хлопчик масою m з'їжджає на санчатах по циліндричній гірці, радіус витка якої R, а віддаль між сусідніми витками H. Визначіть силу тиску на гірку після проходження n витків. Тертям і масою санчат знехтуйте.

Задача 2.

Визначіть при якому R загальні опори обох схем дорівнюватимуть один одному. Чому дорівнює загальний опір кіл, якщо $R_1 = 1$ Ом, а $R_2 = 3$ Ом?





Задача 3.

М'яч падає на горизонтальну поверхню з висоти $h = 10$ м і після непружного удару піднімається на висоту $h_1 = 7$ м. На яку висоту підніметься м'яч після 6-го удару, якщо відношення швидкостей b після удару та до удару вважати постійним.

Задача 4.
Навколо Землі на висоті h над поверхнею рухається по коловій орбіті супутник. Знайдіть залежність швидкості та періоду обертання супутника від висоти, якщо радіус Землі дорівнює R.

Задача 5.
Свинцеву кульку радіусом $R = 3$ см нагріли до $T_2 = 200°$ С і поклали на лід, температура якого $T_1 = 0°$ С. На яку глибину зануриться кулька в лід? Теплопровідністю кульки і нагріванням води знехтуйте.

(Густина свинцю 11,3 г/см^3, льоду – 0,9 г/см^3, питома теплота плавлення льоду $\lambda = 3{,}4 \cdot 10^5$ Дж/кг, питома теплоємність свинцю $c = 140$ Дж/(кг · °С)).

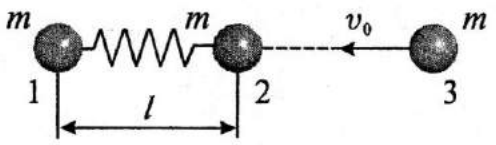
10-й клас

Задача 1.
Рух водоструменевого катера ґрунтується на тому, що засмоктувана забортна вода викидається з певною швидкістю в напрямку протилежному до руху катера. Знайдіть коефіцієнт корисної дії двигуна катера, якщо площа вхідного отвору двигуна S, а вихідного – s.

Задача 2.
Сферична оболонка рівномірно заряджена з поверхневою густиною зарядів σ. Знайдіть розтягуючу силу, яка діє на одиницю площі.

Задача 3.
Дві мильні бульбашки з радіусами r_1 та r_2 зливаються в одну радіусом r. Знайдіть атмосферний тиск, якщо поверхневий натяг мильної плівки дорівнює σ.

Задача 4.
Дві кульки з однаковими масами m, які з'єднано невагомою пружиною з жорсткістю k і довжиною l, лежать на гладкому горизонтальному столі. Третя кулька з масою m рухається зі швидкістю υ по лінії яка з'єднює центри перших двох кульок і пружно вдаряється з однією з них. Визначіть максимальну відстань між кульками, які з'єднані пружиною, під час їх подальшого руху. У моменти максимального стискання і розтягнення пружини кульки мають однакові швидкості.



Задача 5.
Дві посудини наповнені до країв водою: одна – кип'ятком, інша – водою з під крана. Їх виставляють на мороз. Обґрунтуйте за яких умов вода у першій посудині замерзне швидше.

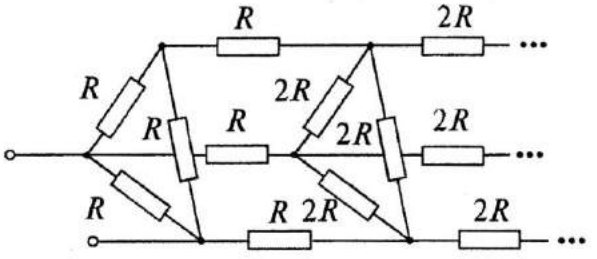
11-й клас

Задача 1.
Із горизонтальної поверхні кинули тіло зі швидкістю 60 м/с під кутом 30° до неї. Знайдіть переміщення тіла за останню секунду руху.

Задача 2.
Вертикальна перегородка у високій пробірці ділить її на дві сполучені частини з площами перерізу S_1 та S_2 відповідно. Знайти період малих коливань рідини, вважаючи, що її поверхня весь час горизонтальна. Висота стовпа рідини H.

Задача 3.
Усередину двогранного кута величиною 60°, утвореного металевими площинами, помістили заряд Q на відстані a від обох площин. Знайдіть силу взаємодії заряду та площин.

Задача 4.
Знайдіть опір нескінченого ланцюжка (див. рис.), якщо у кожній ланці опори збільшуються вдвічі.



Задача 5.
Дві посудини містили однакову кількість ідеального двоатомного газу при температурі T_1 та T_2 відповідно. Їх з'єднали. Обчисліть результуючу температуру суміші, якщо втрати на нагрівання посудин відсутні.

Задачі 7-го відкритого Луганського турніру юних фізиків (юніорська ліга, 8-9-й класи)

Юніорський турнір юних фізиків уже всьоме проводиться в м. Луганську для школярів 8–9-х класів з ініціативи Олександра Леонідовича Каміна та його сина Олександра Олександровича. Змагання організовано за правилами Всеукраїнських турнірів юних фізиків. Команда складається з шести учасників, допускається участь одного десятикласника. Турнір, зазвичай, відбувається щовесни наприкінці квітня – на початку травня.

Фізика – цікава річ: вона цікава навіть тоді, коли в ній нічого не розумієш.

Михайло Аров

1. Придумай сам. Закон бутерброда
Чому кусок хліба з маслом, зазвичай, падає маслом донизу? У межах якої висоти діє цей закон? Придумайте, як треба випускати бутерброд, щоб уникнути дії цього закону.

2. Хула-хуп?
З якою частотою треба обертати обруч навколо талії, щоб він не впав? А на шиї? Чому під час швидкого обертання обруча, він намагається зсуватися вгору по тілу? Оцініть цей ефект кількісно.

3. Гонки під дощем
Якщо гонки „Формули-1" відбуваються під дощем, за болідами утворюється водяний шлейф. Оцініть його розміри і кількість води в ньому.

4. „І я хочу до Бразилії!.."

„Із Ліверпульської гавані завжди по четвергах
Кораблі йдуть у плавання до далеких берегів"

Р. Кіплінг

Як відрізняється шлях, який реально пройшов корабель під час плавання від Ліверпуля до Ріо-де-Жанейро, від найкоротшої віддалі між цими містами (поверхнею Землі)? З яких причин ця відмінність виникає? Опишіть ефект кількісно. Як можна його виміряти?

5. З вершини сповзає льодовик...
Оцініть швидкість росту льодовика і швидкість його руху гірським схилом.

6. „Щоб Вам ані шкарлупи, ані осколків!"*
Опишіть теоретично і визначіть експериментально механічні характеристики шкарлупи яйця. Зробіть теоретичні розрахунки і для драконячого яйця.

7. Задумай бажання
Якою має бути падаюча зоря (метеорит), щоб метеор, який вона залишає після себе, ми бачили неозброєним оком?

8. Язик мій – ворог мій
Якщо полизати ключа на сильному морозі, то язик примерзне до ключа. За якої температури повітря цей ефект уже можливий? Опишіть його теоретично.

9. „Схід – річ тонка!"
Чим відрізняються східні одноборці від європейських з погляду фізики? Чому в айкідо й карате не прийнято вагових категорій?

***Оргкомітет юніорської ліги ТЮФ забороняє проводити експерименти з цієї задачі на родичах та інших членах команди!**

10. Задача чорної кішки

Груздєв – Шарапову:
„Не можна шукати чорної кішки
в темній кімнаті, особливо тоді,
коли її там немає"
Брати Вайнери „Місце зустрічі змінити не можна"

За яких умов чорну кішку ще можна побачити в темній кімнаті неозброєним оком (за умови, якщо вона там є)?

11. Вакуумний страйк

Бешкетники на перерві розмістили шкільний дзвоник під ковпак вакуумного насоса. При якому тискові під ковпаком дзвінок на урок вже не продзвенить?

***Застосовувати ефект для корисливих цілей Оргкомітет юніорської ліги ТЮФ строго забороняє!**

12. „Після дощику в четвер"

Хмарка не має інших турбот,
Як наше сонце закривати...
О. Іващенко і Г. Васильєв

Відомо, що сонячні промені, які падають на лінзу, збираються в її фокусі, тобто вони паралельні. Однак якщо сонячні промені пробиваються через хмари, вони розходяться віялом? Поясніть це явище та опишіть його кількісно.

Задачі запропонували:
Ф. Борисов, Г. Васильєв, О. Іващенко (м. Москва), О.О. Камін, О.Л.Камін, К. Кияшко (м. Алчевськ), Е. Кожушко, В. Смушкін (м. Долгопрудний)

Запрошуємо вчителів та школярів 8–9-х класів долучатися до цього цікавого і творчого змагання.

ПЕРШИЙ ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ СТУДЕНТСЬКИЙ ТУРНІР ФІЗИКІВ

На виконання „Програми роботи з обдарованою молоддю на 2001–2005 рр., затвердженої Указом Президента України від 8 лютого 2001 р. № 78/2001, щоб поширити форми та методи залучення студентської молоді до науково-дослідної роботи, щоб студенти навчилися вести наукову дискусію, Міністерство освіти і науки України започаткувало Всеукраїнський студентський турнір фізиків серед студентів вищих навчальних закладів III–IV рівня акредитації, які навчаються за фаховою дисципліною „Фізика".

Основними завданнями ВСТФ:

– розвивати творчі навички студентів;
– виявляти обдарованих студентів;
– формувати творче покоління молодих науковців та практиків;
– формувати у студентів творчі професійні навички, досвід науково-дослідної роботи;
– пропагувати досягнення науки, техніки та новітніх технологій;
– виявляти, поширювати і впроваджувати в навчально-виховний процес сучасні прийоми і методи навчання технічних дисциплін.

Турнір проходить двома етапами: I етап – між командами вищих навчальних закладів – на рівні міста, області або регіону, II етап – фінальний – на державному рівні.

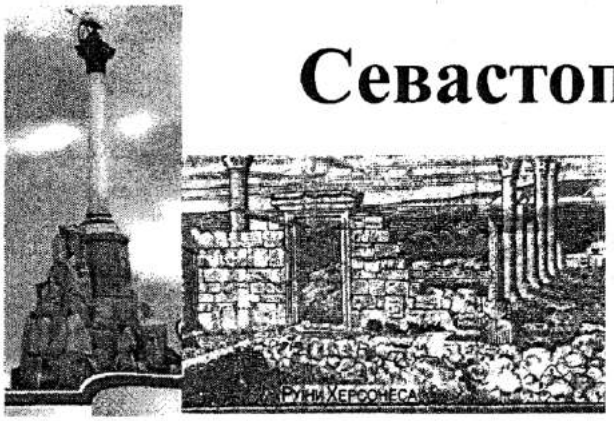
На всіх етапах турніру мають право брати участь студенти будь-якого курсу. Учасники змагань виступають у складі команд, сформованих у вищих навчальних закладах, в яких вони навчаються. Команда складається з чотирьох-шести студентів.

Перший Всеукраїнський студентський турнір фізиків проходитиме 24–27 квітня 2003 року у м. Одесі на базі Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова.

Про Турнір юних фізиків журнал „Світ фізики" постійно подає інформацію, публікує задачі та їхні розв'язки, відомості про організаторів та учасників турніру, аналізує проблеми та успіхи, зрештою, є постійним інформаційним спонсором. XI Всеукраїнський турнір юних фізиків відбувся у лютому 2003 року на півдні України, в м. Севастополі. Його називали „холодним" турніром, адже учасники турніру змагались між собою не лише інтелектуально, а й з холодом. І можна лише щиро подякувати господарям турніру за турботу та тепло, яким вони зігрівали учасників: керівникам управління освіти міста Севастополя, колективам школи-інтернату та гімназії, де проживали та змагалися учасники, викладачам Севастопольського державного технічного університету. Особливо подякуємо Іванові Івановичу Казачекові за велику роботу у підготовці цього турніру.

Варто зазначити, що до правил цього турніру організатори спробували внести деякі зміни до правил. Однак невідомо чи це поліпшить якість змагань. Час покаже. Втім одне можна сказати напевно: організатори постійно удосконалюють правила змагань, підвищують рівень задач, професійніший підбір членів журі, наближають вимоги Всеукраїнського турніру до міжнародних. ТЮФ – це, без сумніву, цікава і потрібна форма роботи з обдарованою молоддю. Та як прикро, що за багато років проведення таких турнірів не знайшлось меценатів, які б фінансово підтримали ці творчі змагання. Або їх не має в Україні, або вони байдужі до майбутнього України?

Пропонуємо Вам міркування учасника XI Всеукраїнського турніру юних фізиків, капітана команди Львівського фізико-математичного ліцею Олега Кіта.



Севастопольські баталії

Відбувся XI Турнір юних фізиків у портовому місті Севастополі. Сюди приїхало понад десяток команд із найвіддаленіших куточків України. Поміж командами з Києва, Львова, Харкова, Дніпропетровська, Одеси, Чернівців, Алчевська, Волинської області та інших, не менш титулованих колективів, панувала атмосфера, як запеклої боротьби в авдиторіях, так і дружних стосунків у вільний час.

Насамперед коротко про *Турнір Юних Фізиків (ТЮФ)*[1] і з якою метою його організовують. Це дійство проводиться щороку в одному з обласних центрів України, щоб залучити до науки „молодих і талановитих". Турнір сприяє не тільки й не стільки, поглибленню знань у галузі фізики, а ще й розвиває культуру мовлення та здатність до зв'язного й лаконічного висловлювання на запропоновану тему, формує ділові стосунки між ученими-початківцями та, зрештою, змушує замислитись над глобальними першопричинами буття. На ТЮФі було запропоновано 17 задач, а точніше проблем, які не мають простого розв'язку, а, деколи, не мають аналітичного розв'язку взагалі. У такому разі на допомогу приходить експеримент. Турнір – це командна гра, у якій може брати участь будь-яка група школярів. Команда формується не більше, ніж із п'яти учасників і допускається до участі за результатами заочного туру. Треба надіслати розв'язки чотирьох завдань на адресу оргкомітету (для переможців обласних турнірів заочний тур не обов'язковий).

Змагання проводиться у формі ігор, які називають *фізичними боями*. Фізбій, по суті, – це наукова дискусія, в якій беруть участь три команди, кожна з яких, почергово, упродовж трьох турів, виступає в ролі *Доповідача*, *Опонента* та *Рецензента*. Команда-Опонент викликає Доповідача на одну із запропонованих задач. Доповідач викладає концепцію свого розв'язку, зупиняючись на основних своїх здобутках та досягненнях, і, зрозуміло, на результаті. Опонент висловлює критичні зауваження щодо розв'язку Доповідача, опонування не має зводитись до висвітлення лише негативних аспектів доповіді та свого розв'язку. Рецензент підсумовує сказане та дає коротку оцін-

[1]Відгуки організаторів ТЮФу читайте у журналі „Світ фізики". 1998. № 1.

Команда Малої академії наук під час турніру юних фізиків Львівської області

ку роботі Доповідача й Опонента. А журі, не завжди достатньо кваліфіковане, спостерігає за перебігом наукової дискусії та оцінює учасників.

У Севастополі амбітних учасників та зважених членів журі вітав, окрім привітних господарів змагу, справжній лютневий мороз. Організатори ТЮФу *дбайливо* ставилися до проблем, що виникали під час проведення заходу, були *цікаві* екскурсії по місту та руїнах старовинного Херсонесу. Ця пам'ятка архітектури сягає часів стародавніх греків і відображає тогочасне місто – тут чимало фортифікаційних споруд, є залишки старовинного театру та храму, відображення якого може побачити кожен на звороті одногривневої купюри, а музей, що розташований на території заповідної зони, доволі розкаже про побут херсонесців.

Окрім культурної програми, на кожного учасника чекала захоплива боротьба задля високої мети. У день відкриття дійства було проведено представлення та жеребкування команд, за результатами якого кожен колектив обирав місце у сітці змагу. Команди зустрічалися у відбіркових боях, здобуваючи рейтингові бали; дев'ять команд проходило до півфіналу. Програма ТЮФу була доволі насиченою – учасники не встигали пообідати опісля вранішнього бою, як уже треба було бігти на наступний. Утім усі учасники відвідали виставу місцевого театру, на жаль, не українською мовою, та все ж стереозвук та достойна гра акторів залишили позитивне враження.

Півфінал приніс перемоги у своїх групах команді „одного гравця" із Алчевська*, торішній переможниці – команді Харкова та колективу з Одеси. Саме вони наступного дня змагалися за право представляти Україну у Швеції на Міжнародному турнірі.

Другі місця у півфінальних групах, і відповідно III дипломи, завоювали команди зі Львова, Києва та Луганська. Дипломом III ступеня була нагороджена команда Севастополя.

А попереду була захоплива фінальна гра. Його учасники отримали п'ять завдань на фінал, і впродовж неповних семи годин підготували розв'язки.

Напружений експериментальний конкурс капітанів переміг одеський капітан, але це не забезпечило помітної переваги колективу Рішельєвського ліцею м. Одеси. Перемогу, як і очікувалось, здобула команда ліцею № 27 міста Харкова.

Вручення дипломів та цінних подарунків проходило урочисто, переможців турніру вітав доцент Валерій Колебошин. Окрім диплому, команді-переможцю було вручено, перехідний кубок, капітан якої зазначив, що цей кубок „не такий вже й перехідний", бо знову поїде до Харкова.

Після фіналу відбулась розважальна гра „Що? Де? Коли?" Звичного Бориса Бурди цього разу не було, гру проводили Олександри друзі – п. Шевчук і п. Камін. Вони запропонували доволі не прості запитання, які, переважно, стосувались російської літератури. Але, не зважаючи на цю прикру обставину, Львівська команда завоювала третє місце, пропустивши вперед команду Чернівців.

Турнір позаду, як позаду і довгий переїзд до місця проведення ТЮФу, і переживання організаторів та учасників. Бажаю усім молодим ентузіастам успіхів у науковій роботі, олімпіадах і турнірах.

Олег Кіт,
Львівський фізико-математичний ліцей

*У команді міста Алчевська три роки у ТЮФі брав участь Борис Мельник, який справді виділявся серед інших школярів не лише своєї команди, а й інших, своїми енциклопедичними знаннями з фізики, логічним мисленням та вмінням толерантно вести дискусії. До речі, Бориса Мельника двічі визнано абсолютним переможцем в особистому змаганні, йому вручено премію імені професора Віктора Сердюка.

Шведська Королівська Академія Наук нагородила Нобелівською премією з фізики 2002 року японського фізика Масатоши Кошибу (університет Токіо) та американського фізика Раймонда Девіса (університет Пенсильванії) „за дослідження в галузі астрофізики, а саме за виявлення космічних нейтрино" – половина премії та американського фізика італійського походження Рікардо Джіаконі „за дослідження в галузі астрофізики, які привели до відкриття космічних джерел рентгенівського випромінювання" – друга половина премії.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

2002

Два нових вікна у Всесвіт

Райнмонд Девіс Масатоші Кошіба Рікардо Джіаконі

Раймонд Девіс (Raymond Davis) народився 1914 р., отримав ступінь бакалавра 1937 р. і магістра 1940 р. в університеті Мериленда, а 1942 р. здобув науковий ступінь з фізичної хемії (1942) в Єльському університеті. Нині – почесний професор університету штата Пенсильванія (м. Філадельфія, США).

Масатоші Кошиба (Masatoshi Koshiba) народився 19 вересня 1926 р. у м. Тойохаші (префектура Айчі, Японія). 1951 р. він закінчив університет у Токіо. 1955 р. здобув учений ступінь з фізики, закінчивши аспірантуру університету Рочестер (Нью-Йорк). 1970 р. став професором фізики університету Токіо, 1987 до 1997 рр. працював в університеті Токай. Нині – почесний професор Міжнародного центра фізики елементарних частинок Токійського університету.

Обидва науковці доклали чимало зусиль для створення сучасних детекторів нейтрино. Їхні дослідження привели до несподіваних відкрить, створили нове поле діяльності – нейтринну астрофізику.

Загадкову частинку нейтрино на початку 1930-х років передбачив В. Паулі (лавреат Нобелівської премії 1945 р.) та експериментально підтвердив її існування через 25 років Ф. Рейнс (Нобелівський лавреат 1995 р.). Те, що нейтрино не могли виявити впродовж 25 років зумовлено їх специфічними властивостями. Ці частинки мають малу масу спокою і не мають електричного заряду надзвичайно слабо взаємодіють з речовиною і тому їх складно реєструвати. Наприклад, трильйони нейтрино щосекунди проходять крізь наші тіла, а ми цього навіть не помічаємо.

Р. Девіс розпочав свої дослідження нейтрино ще в 1950-х роках на промисловому ядерному реакторі Савана-Рівер у штаті Південна Кароліна (США). Майже у той самий час на цьому ж реакторі Ф. Рейнс зареєстрував електронні антинейтрино, що народились під час ядерних реакцій у реакторі. Однак нейтрино народжуються не лише в ядерних реакторах, а й на Сонці і всюди, де відбуваються ядерні реакції. В бік сонячних нейтрино спрямував свої зусилля Р. Девіс на початку 1960-х років. Їх зареєструвати значно складніше, ніж нейтрино реакторного походження, адже їхній потік у багато разів менший від реакторних. Для реєстрації сонячних нейтрино Р. Девіс застосував хлор-аргонний метод Б. Понтекорво

$$(^{37}\mathrm{Cl} + \nu_e \rightarrow {}^{37}\mathrm{Ar} + e^-)$$

і створив принципово новий нейтринний детектор: величезний бак заповнений 610 тоннами перхлоретилену – рідини що зазвичай використовують для хемічного очищення одягу, але для Р. Девіса цінної тим, що вона містить багато атомів хлору (10^{30}). Детектор розмістили глибоко під землею, щоб захистити його від космічного випро-

мінювання, в залишеній золоторудній копальні в штаті Південна Дакота на глибині 1480 м. Експозиція мусила тривати майже три місяці, щоб в детекторі утворилось кільканадцять атомів аргону-37. Щоб виділити ці атоми з детектору, через перхлоретилен пропускали дрібненькі бульбашки гелію, які захоплювали атоми аргону. Далі аргон виморожувався під час охолодження суміші гелію з аргоном до температури 77 К та адсорбувався пастками із активованого вугілля. Кількість утворених у детекторі атомів аргону-37 визначали за характеристичним рентґенівським випромінюванням під час радіоактивного розпаду цих атомів, використовуючи добре захищені від оточуючого радіоактивного фону пропорційні лічильники. На початку 1970-х років за допомогою такого обладнання Р. Девіс зареєстрував сонячні нейтрино, однак перші результати показали, що потік сонячних нейтрино в 10 разів менший від очікуваного. Згодом удосконаливши систему реєстрації радіоактивних атомів аргону дослідник реєстрував потік лише вдвічі-тричі менший за очікуваний. Впродовж 30 річних спостережень йому вдалось зареєструвати майже 2000 сонячних нейтрино. Сам факт реєстрації потоку сонячних нейтрино однозначно вказав на те, що в глибинах Сонця протікають термоядерні реакції. І це не підлягає сумніву!

Не співпадіння потоків нейтрино зареєстрованих експериментально і розрахованих теоретично швидше за все пов'язано з осциляцією нейтрино (перетворення електронних нейтрино у мюонні) на шляху від Сонця до Землі.

Однак проблема дефіциту сонячних нейтрино, на яку вказали дослідження Р. Девіса, стимулювала й інші нейтринні експерименти, насамперед створення нових нейтринних детекторів. Такий детектор, названий Каміоканде, був створений групою науковців, очолюваною Масатоші Кошібою для того, щоб перевірити результати Р. Девіса. Цей детектор розташовано в старій копальні Каміока (Японія) на глибині 1,5 км. Він містить понад дві тисячі тонн води, яку „оглядають" тисячі фотопомножувачів. У випадку взаємодії нейтрино з атомом водню, утворюються електрони, які мають швидкість близьку до швидкості світла. Їхній рух у воді зумовлює випромінювання Черенкова, яке реєструють фотопромножувачі. 23 лютого 1987 р. під час спалаху наднової зорі цей детектор зміг зареєструвати потік нейтрино, що прийшов до нас із сусідньої галактики. Детектор зміг зареєструвати 12 нейтрино із 10^{16}, що пройшли крізь нього. Піонерські дослідження Р. Девіса та М. Кошіби започаткували нову вітку астрономії – нейтринну астрофізику.

Сонце та інші зорі випромінюють електромагнетне випромінювання як видиме людським оком так і невидиме, зокрема рентґенівське випромінювання. Щоб досліджувати космічне рентґенівське випромінювання, яке майже все поглинає атмосфера Землі, потрібно винести інструменти за межі атмосфери у космос. Рікардо Джаконі (Raccardo Giacconi) створив цілу низку таких інструментів. Він народився 1931 р. у м. Генуї (Італія), здобув учений ступінь у Міланському університеті 1954 р. Р. Джаконі 1959 р. переїхав до США і влаштувався працювати у приватній дослідницькій фірмі, яка займалась налагодженням наукових контактів молодих науковців з НАСА і Міністерством оборони США. Науковець працював над створенням програми з досліджень з рентґенівської астрономії. У 1960 р. науковець з колегами спроєктували перший рентґенівський телескоп, 1962 р. – під час космічного польоту відкрили перше рентґенівське космічне джерело, що отримало назву „Скорпіон Х-1", а згодом – і наступні. Рентґенівський телескоп, який спроєктував Джаконі, був встановлений на орбітальній станції „Скайлаб". Від 1973 р. Джаконі працював у Гарвардському університеті і продовжував програми дослідження космосу. Найбільшим його досягненням було виведення 1978 р. супутника, який згодом назвали „Обсерваторія Айнштайна" з рентґенівським телескопом, який мав роздільну здатність 2 кутові секунди. За його участю були знайдені джерела рентґенівського випромінювання за межами Сонячної системи та рентґенівське фонове випромінювання і джерела рентґенівського випромінювання, які, як вважають багато астрономів, відноситься до чорних дір. Р. Джаконі сконструював перші рентґенівські телескопи, які відкрили нам новий, зовсім незвичний бік Всесвіту. Його дослідження заклали підґрунтя сучасної рентґенівської астрономії. Нині Р. Джаконі – президент корпорації Об'єднаних університетів у м. Вашінгтоні, громадянин США.

Отже, нейтринна астрофізика та рентґенівська астрономія стали новим вікном, через яке людство дивиться у Всесвіт, а лавреати Нобелівської премії з фізики 2002 р. відкрили нам це вікно.

Олександр Гальчинський

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики Львів, 2003 р.

(Умови задач дивіться в журналі „Світ фізики". 2003. № 1(21) стор. 24)

8-й клас

Задача 1.

Підіймальна сила аеростата з воднем – це різниця виштовхувальної сили повітря та ваги аеростата і водню

$$F_{\text{під}} = F_{\text{A}} - m_{\text{a}}g - m_{\text{H}}g\,. \qquad (1)$$

Підіймальна сила аеростата з гелієм – це різниця виштовхувальної сили повітря та ваги аеростата і гелію

$$F'_{\text{під}} = F_{\text{A}} - m_{\text{a}}g - m_{\text{He}}g\,. \qquad (2)$$

Зміна виштовхувальної сили

$$\Delta F = F_{\text{під}} - F'_{\text{під}} = (m_{\text{He}} - m_{\text{H}})g =$$

$$= (\rho_{\text{He}} - \rho_{\text{H}})gV_{\text{a}} = \rho_{\text{H}}gV_{\text{a}} = 18000\ \text{Н}\,.$$

З рівняння (1):

$$m_{\text{a}} = \frac{F_{\text{A}} - m_{\text{H}}g - F_{\text{під}}}{g} =$$

$$= \frac{\rho_{\text{пов}}gV_{\text{a}} - \rho_{\text{H}}gV_{\text{a}} - F_{\text{під}}}{g} = 21500\ \text{кг}\,.$$

Задача 2.

Відстань, яку проїде велосипедист до першої зустрічі $S_1 = \upsilon_{\text{в}}(t_0 + t_1)$, де $t_0 = 20$ хв, $t_1 = 10$ хв. Таку ж відстань проїде мотоцикліст $S_1 = \upsilon_{\text{м}}t_1$. Отже,

$$\upsilon_{\text{в}}(t_0 + t_1) = \upsilon_{\text{м}} \cdot t_1\,. \qquad (1)$$

До другої зустрічі велосипедист проїде $S_2 = \upsilon_{\text{в}}(t_0 + t_1 + t_2)$, де $t_2 = 30$ хв, а мотоцикліст $S'_2 = \upsilon_{\text{м}}(t_1 + t_2)$.

$S'_2 = S_2 + S_0$, де $S_0 = 24$ км.

Отже

$$\upsilon_{\text{м}}(t_1 + t_2) = \upsilon_{\text{в}}(t_0 + t_1 + t_2) + S_0\,. \qquad (2)$$

З рівняння (1) $\upsilon_{\text{м}} = \dfrac{\upsilon_{\text{в}}(t_0 + t_1)}{t_1}$.

Підставмо в (2) і отримаємо

$$\upsilon_{\text{в}} = \frac{S_0 t_1}{(t_0 + t_1)(t_2 + t_1) - t_1(t_1 + t_2 + t_0)} = 24\,\frac{\text{км}}{\text{год}}\,,$$

а $\upsilon_{\text{м}} = 72\,\dfrac{\text{км}}{\text{год}}$.

Задача 3.

Розгляньмо два етапи підіймання ланцюга. Спочатку підіймаймо доти, поки він не випрямиться на повну довжину (провисатиме вертикально) так, що нижній його кінець буде підлозі. Оскільки маса частини ланцюга, яка підіймається, змінюється від 0 до m, то візьмемо середнє значення $m/2$. Робота $A_1 = \dfrac{1}{2}mgL$.

На другому етапі ланцюг переміщується на відстань L, і $A_2 = mgL$.

Повна робота $A = A_1 + A_2 = \dfrac{3}{2}mgL = 150$ Дж.

Задача 4.

Теплота, яка виділиться під час замерзання води, піде на нагрівання алюмінію від температури t до 0°C.

$$m_{\text{л}}\lambda = c_{\text{a}}m_{\text{a}}(0 - t),$$

$m_{\text{л}}$, m_{a} – відповідно маса утвореного льоду та алюмінію.

$$\rho_{\text{л}}V_{\text{л}}\lambda = -c_{\text{a}}\rho_{\text{a}}V_{\text{a}}t\,,$$

$V_{\text{л}}$, V_{a} – відповідно об'єм утвореного льоду і алюмінію.

$V_{\text{л}}$ знайдімо з умови плавання „обмерзлого" льодом алюмінію у воді.

$$(m_{\text{a}} + m_{\text{л}})g = \rho_{\text{в}}g(V_{\text{a}} + V_{\text{л}})\,.$$

$$\rho_а V_а + \rho_л V_л = \rho_в (V_а + V_л).$$

$$V_л = \frac{V_а(\rho_а - \rho_в)}{\rho_в - \rho_л}.$$

Тоді $t = -\dfrac{\rho_л(\rho_а - \rho_в)\lambda}{\rho_а(\rho_в - \rho_л)c_а} \approx -2640\,°\text{C}$.

Очевидно, що досягти такої температури неможливо.

Задача 5.

Відстань, яку пройде перше тіло, буде площею під кривою *AMB*

$$S = \upsilon_1 t_1 - \frac{1}{2}\pi\upsilon_1\frac{t_1}{2} = \upsilon_1 t_1\left(1 - \frac{\pi}{4}\right).$$

Друге тіло рухається рівномірно: $S = \upsilon_2 t_1$.

Отже,

$$\upsilon_2 t_1 = \upsilon_1 t_1\left(1 - \frac{\pi}{4}\right),$$

звідси

$$\upsilon_1 = \frac{\upsilon_2}{\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)} \approx 23{,}26\,\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

9-й клас

Задача 1.

Розгляньмо рух уздовж одного витка. З рис. 1 отримаємо, що сила реакції опори

$$N = mg\cos\alpha.$$

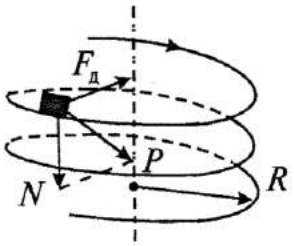


Рис. 1.

За другим законом Ньютона,

$$F_д = m\upsilon_д^2/R.$$

Причому з рис. 1 маємо, що $\upsilon_д = \upsilon\cos\alpha$. Отже,

$$F_д = \frac{m\upsilon^2\cos\alpha}{R}.$$

Проїхавши n витків, хлопчик опуститься на висоту:

$$h = nH.$$

Швидкість хлопчика вздовж гірки за відсутності тертя дорівнює швидкості тіла, яке вільно падає з висоти h. Тобто при $\upsilon_0 = 0$, отримаємо, що

$$\upsilon = \sqrt{2gnH}.$$

З рис. 1 видно, що $\text{tg}\alpha = \dfrac{H}{2\pi R}$. Тоді

$$\cos^2\alpha = \frac{1}{1 + \text{tg}^2\alpha} = \frac{4\pi^2R^2}{4\pi^2R^2 + H^2}.$$

Доцентрова сила

$$F_д = \frac{8mgnH\pi^2R}{4\pi^2R^2 + H^2}.$$

З рис. 2 видно, що сила тиску на гірку з боку хлопчика дорівнюватиме

$$P^2 = N^2 + F_д^2.$$

Тобто

$$P = \frac{2\pi Rmg\sqrt{1 + 16n^2H^2\pi^2}}{4\pi^2R^2 + H^2}.$$

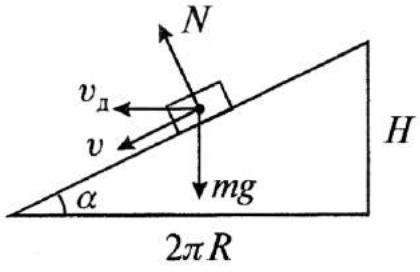


Рис. 2.

Задача 2.

Загальний опір першого кола:

$$R_{x1} = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}} = R_1 + \frac{R_1R_2 + R_1R + R_2R}{R_2 + R}. \quad (1)$$

Загальний опір другого кола

$$R_{x2} = R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}}}} =$$

$$= R_1 + \frac{1}{\dfrac{1}{R_2} + \dfrac{R_2 + R}{R_1R_2 + R_1R + R_2R}}. \qquad (2)$$

Згідно з умовою задачі $R_{x1} = R_{x2}$. Позначмо їх через R_x. Розв'язавши систему рівнянь (1)–(2) відносно R та R_x отримаємо

$$R = R_x = R_{x1} = R_{x2} = \frac{1+\sqrt{13}}{2}\ \text{Ом}.$$

Від'ємними коренями ми знехтували.

Задача 3.

Очевидно, що

$$h = \frac{\upsilon^2}{2g},\ h_1 = \frac{\upsilon_1^2}{2g},\ \ldots,\ h_6 = \frac{\upsilon_6^2}{2g},$$

де υ_1 та υ_2 – початкові швидкості після першого та шостого удару.

За умовою задачі

$$b = \frac{\upsilon_1}{\upsilon},\ b^2 = \frac{\upsilon_1^2}{\upsilon^2},\ b^2 = \frac{\upsilon_2^2}{\upsilon_1^2},\ \ldots\ b^2 = \frac{\upsilon_6^2}{\upsilon_5^2}.$$

Перемноживши ці рівності, отримаємо

$$b^{12} = \frac{\upsilon_6^2}{\upsilon^2} = \frac{2gh_6}{2gh} = \frac{h_6}{h}.$$

Звідси знаходимо: $h_6 = h \cdot b^{12}$.

З іншого боку, $b^2 = \dfrac{\upsilon_1^2}{\upsilon^2} = \dfrac{2gh_1}{2gh} = \dfrac{h_1}{h}$.

Тоді $h_6 = h \cdot (h_1/h)^6 = 1{,}18$ м.

Задача 4.

На супутник діє сила тяжіння, пропорційна до його маси, і обернено пропорційна відстані до центра Землі

$$F = \frac{km}{(R+h)^2}.$$

На поверхні Землі $F = mg$ при $h = 0$, тому $k = gR^2$. Тоді

$$F = \frac{gR^2m}{(R+h)^2}. \qquad (1)$$

Оскільки супутник рухається по коловій орбіті, то

$$F = \frac{m\upsilon^2}{R+h}. \qquad (2)$$

Прирівнявши (1) та (2), отримаємо

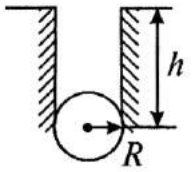
$$\upsilon = R\sqrt{\frac{g}{R+h}}.$$

А період обертання супутника

$$T = \frac{2\pi}{R}\sqrt{\frac{(R+h)^3}{g}}.$$

Задача 5.

Об'єм розплавленого льоду V дорівнює сумі об'ємів циліндра V_1 і півсфери V_2 (див. рис.).



$V_1 = \pi R^2 h$ – об'єм циліндра, $V_2 = \dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{4}{3}\pi R^3$ – об'єм півсфери. Кількість теплоти, віддана під час охолодження кульки

$$Q_2 = cm\Delta t = \frac{4}{3}\pi\rho_1 R^3 c(t_2 - t_1),$$

де ρ_1 – густина свинцю.

Кількість теплоти, яку отримав лід під час плавлення

$$Q_2 = m_2\lambda = \rho_2 V\lambda = \left(\pi R^2 h + \frac{2}{3}\pi R^3\right)\rho_2\lambda,$$

де ρ_2 – густина льоду.

Оскільки $Q_1 = Q_2$, то

$$h = \frac{\dfrac{4}{3}\rho_1 Rc(t_2 - t_1) - \dfrac{2}{3}R\rho_2\lambda}{\rho_2\lambda} = 1{,}91\ \text{см}.$$

А глибина занурення

$$h' = h + R = 4{,}91\ \text{см}.$$

10-й клас

Задача 1.

За час Δt двигун засмоктує об'єм води

$$V = \upsilon S\Delta t,$$

де υ – швидкість катера.

Робота, яку виконує двигун, витрачається на зміну кінетичної енергії води. Кінетична енергія засмоктаної води

$$E_к = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{1}{2}\rho(\upsilon S\Delta t)\upsilon^2 = \frac{1}{2}\rho S\Delta t\upsilon^3.$$

Вода, яку викидає двигун зі швидкістю u має кінетичну енергію

$$E'_к = \frac{1}{2}\rho(\upsilon S\Delta t)u^2.$$

Врахувавши, що

$$\upsilon S\Delta t = us\Delta t,$$

маємо

$$u = \upsilon\frac{S}{s}.$$

Кінетична енергія

$$E'_к = \frac{1}{2}\rho\frac{S^3}{s^2}\upsilon^3\Delta t.$$

Робота, яку виконує двигун

$$A_{кор} = E'_к - E_к = \frac{1}{2}\rho S\frac{\left(S^2 - s^2\right)}{s^2}\Delta t\upsilon^3.$$

Корисна робота двигуна

$$A_{кор} = F_р\upsilon\Delta t,$$

де $F_р$ – реактивна сила, яка дорівнює, за абсолютною величиною, зміні імпульсу за одиницю часу

$$F_р = \frac{m(u-\upsilon)}{\Delta t}.$$

Тоді

$$A_{кор} = \left(\frac{mu - m\upsilon}{\Delta t}\right)\Delta t\upsilon = \frac{\rho S\Delta t\upsilon}{\Delta t}\left(\upsilon\frac{S}{s} - \upsilon\right)\Delta t\upsilon =$$

$$= \rho S\frac{S-s}{s}\Delta t\upsilon^3.$$

Коефіцієнт корисної дії двигуна

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A} = \frac{2s}{S+s}.$$

Задача 2.

Припустімо, що радіус оболонки зменшився на як завгодно малу величину ΔR. До того ж буде виконана робота

$$A = 4\pi R^2 f\Delta R,$$

де f – сила, яка діє на одиницю площі.

Робота здійснюється завдяки зменшенню електростатичної енергії.

Спочатку електростатична енергія дорівнює

$$E_1 = \frac{Q^2}{2C_{сф}} = \frac{Q^2}{2\cdot 4\pi\varepsilon_0 R},$$

а після розтягу

$$E_2 = \frac{Q^2}{2\cdot 4\pi\varepsilon_0(R+\Delta R)}.$$

Зміна енергії дорівнює роботі A, тобто

$$4\pi R^2 f\Delta R = \frac{Q^2}{8\pi\varepsilon_0}\frac{\Delta R}{R(R+\Delta R)}.$$

Звідси для сили f отримаємо вираз

$$f = \frac{Q^2}{32\pi^2\varepsilon_0 R^4} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}.$$

Задача 3.

При злитті мильних бульбашок в одну сумарна маса повітря не зміниться

$$m = m_1 + m_2.$$

За основним рівнянням стану газу

$$m = \frac{pV\mu}{RT},$$

де $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ – об'єм великої бульбашки.

Тиск, створюваний повітрям в середині бульбашки, зрівноважується атмосферним тиском та додатковим тиском, який зумовлений сферичністю поверхні

$$p = p_0 + \frac{2\sigma}{r}.$$

Отже,

$$m_1 = \left(p_0 + \frac{2\sigma}{r}\right)\frac{4}{3}\pi r_1^3\frac{\mu}{RT},$$

$$m_2 = \left(p_0 + \frac{2\sigma}{r}\right)\frac{4}{3}\pi r_2^3\frac{\mu}{RT},$$

$$m = \left(p_0 + \frac{2\sigma}{r}\right)\frac{4}{3}\pi r^3\frac{\mu}{RT}.$$

Остаточно

$$p_0 = \frac{2\sigma\left(r_1^2 + r_2^2 - r^2\right)}{r^3 - r_1^3 - r_2^3}.$$

Задача 4.

Оскільки маси кульок рівні, то третя кулька після зіткнення зупиниться, а друга набуде швидкості υ_0. Припускаємо що час зіткнення кульок малий порівняно з часом деформації пружини. Після удару друга кулька рухається ліворуч, відповідно, пружина деформується і через неї взаємодія передається першій кульці. Оскільки на систему кульок не діють зовнішні сили, то центр мас системи рухається з постійною швид-

кістю, яку можна визначити із закону збереження імпульсу

$$\upsilon = \frac{m\upsilon_0}{2m} = \frac{\upsilon_0}{2}.$$

Позначимо Δx – величина стиску пружини. Тоді із закону збереження енергії

$$\frac{k(\Delta x)^2}{2} = \frac{m\upsilon_0^2}{2} - 2m\frac{\upsilon_0^2}{8},$$

знайдемо

$$\Delta x = \upsilon_0\sqrt{\frac{m}{2k}}.$$

Максимальна і мінімальна відстані між кульками відповідно дорівнюють

$$l_{max} = l + \Delta x = l + \upsilon_0\sqrt{\frac{m}{2k}},$$

$$l_{min} = l - \Delta x = l - \upsilon_0\sqrt{\frac{m}{2k}}.$$

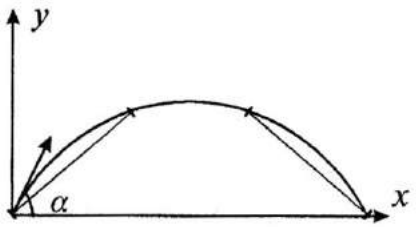
Задача 5.

За нормальних атмосферних умов вода замерзає при 0 °С. До того ж треба врахувати два механізми трати теплоти: теплообмін з навколишнім довкіллям і випаровування. Якщо стінки склянок теплоізольовані, то охолодження води відбувається завдяки випаровуванню з відкритої поверхні. Над поверхнею рідини утворюється пара, тиск якої увесь час змінюється завдяки зміні температури. Рідина випаровується до встановлення рівноваги з парою, тобто поки тиск пари над поверхнею рідини не дорівнюватиме тискові насичення $p_н$. Але $p_н$ залежить від температури прямо пропорційно. Тому над гарячою рідиною тиск пари значно менший, ніж над холодною, і гаряча рідина інтенсивно випаровуючись швидко охолоджується. Завдяки інтенсивному випаровуванню зменшується маса рідини. Тому у момент, коли температура дорівнюватиме 0°С, у склянці, де була гаряча вода, її маса стане значно меншою, ніж маса холодної води, процес кристалізації відбувається за однакових умов. Тому за умови, коли теплообмін з довкіллям затруднений, а вільна поверхня рідини досить велика, окріп може замерзнути швидше, ніж вода з-під крана.

11-й клас

Задача 1.

З міркувань симетрії видно, що величини переміщення за першу та останню секунди рівні (тіло рухається по параболі). За першу секунду руху:



по горизонталі $x = \upsilon_0\cos\alpha\Delta t$,

по вертикалі: $y = \upsilon_0\sin\alpha\Delta t - \frac{g\Delta t^2}{2}$.

$\Delta t = 1$ с, $\alpha = 20°$. Тоді

$$l = \sqrt{x^2 + y^2} = 57{,}7 \text{ м}.$$

Задача 2.

Нехай ρ – густина рідини, x_1, x_2 – відхилення висоти стовпа рідини від H у різних частинах посудини. Тоді

$$x_1S_1 + x_2S_2 = 0$$

– умова нестисливості рідини.

Звідси

$$x_2 = -x_1\frac{S_1}{S_2},\ \dot{x}_2 = -\dot{x}_1\frac{S_1}{S_2},$$

$\dot{x}_1$, $\dot{x}_2$ – швидкість поверхні рідини.

Потенціальна енергія рідини ($\rho(H + x_1)S_1$ – маса рідини в першій половині посудини):

$$U = \frac{1}{2}\left(\rho(H + x_1)S_1g(H + x_1) + \rho(H + x_2)S_2g(H + x_2)\right)$$

або $$U = \frac{\rho g}{2}H^2(S_1 + S_2) + \frac{\rho g}{2}S_1x_1^2\left(1 + \frac{S_1}{S_2}\right).$$

Кінетична енергія

$$K = \frac{\rho S_1}{2}(H + x_1)\dot{x}_1^2 + \frac{\rho S_2}{2}(H + x_2)\dot{x}_2^2.$$

Знехтуймо доданками $x_1\dot{x}_1^2$, $x_2\dot{x}_2^2$, які є малими порівняно з рештою. Повна енергія ($E = K + U$) зберігається, звідси

$$E-\frac{\rho}{2}H^2(S_1+S_2)=$$

$$=\frac{\rho g S_1}{2}\left(1+\frac{S_1}{S_2}\right)x_1^2+\frac{\rho S_1}{2}\left(1+\frac{S_1}{S_2}\right)H\dot{x}_1^2$$

теж стала. Диференціюючи праву частину за часом і скорочуючи однакові множники, отримаємо

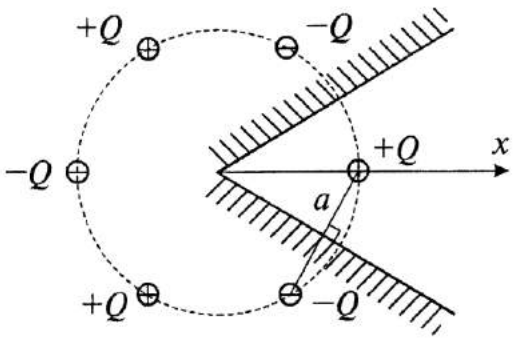
$$H\ddot{x}_1+gx_1=0.$$

Звідси

$$\omega=\sqrt{\frac{g}{H}}.$$

Задача 3.

Оскільки металеві площини простягаються на нескінченність, то їхній потенціал дорівнюватиме нулеві. Методом відображень підберемо таку систему фіктивних зарядів, які давали б еквіпотенціальну поверхню у вигляді двогранного кута (який має збігатися з нашими металевими поверхнями). Таку систему зображено на рисунку.



Заряди $\pm Q$, знак яких чергується, утворюють шестикутник зі стороною $2a$.

З міркувань симетрії очевидно, що заряд буде притягуватися в напрямку до грані кута. Віддалі між зарядом та фіктивними зарядами: $2a$, $2a\sqrt{3}$, $4a$, $2a\sqrt{3}$ та $2a$ відповідно. Отже, сила притягання (її проекція на вісь x):

$$F=2\frac{Q^2}{4a^2}\cos\frac{\pi}{3}-2\frac{Q^2}{12a^2}\cos\frac{\pi}{6}+\frac{Q^2}{16a^2}=$$

$$=\frac{Q^2}{48a^2}\left(15-4\sqrt{3}\right).$$

Задача 4.

Враховуючи симетрію задачі, потенціали між точками, до яких приєднано верхні резистори, однакові, отже, їх можна викинути. Позначмо через r опір усього ланцюжка. Тоді

$$r=\frac{\left(2r+2R\right)\frac{2}{3}R}{\frac{8}{3}R+2r}.$$

Тут враховано, що опір ланцюжка без першої ланки становить $2r$. Розв'язавши це рівняння і взявши тільки додатний корінь, отримаємо

$$r=\frac{R}{3}\left(\sqrt{7}-1\right).$$

Задача 5.

Для ідеального газу кінетична енергія молекул пропорційна до температури та кількості молекул. Для процесу, у якому відсутні втрати на нагрівання стінок, сумарна кінетична енергія зберігається. Отже,

$$c\left(N_1+N_2\right)T=c\left(T_1N_1+T_2N_2\right).$$

$N_1=N_2$ – кількості молекул, c – коефіцієнт пропорційності між кінетичною енергією та температурою. Звідси

$$T=\frac{T_1+T_2}{2}.$$

Розв'язки підготували
Віталій Лесівців і Тарас Фітьо

УВАГА: У редакції журналу „Світ фізики" змінено номер телефону.
Новий номер телефону – **(0322) 96 46 73**.

УТВОРЕННЯ ІНЕЮ НА КРИЛАХ ЛІТАКІВ

На Львівському турнірі юних фізиків 2003 року була задача „Іній"

Сонячного дня літак злітає та набирає висоту. Визначіть, на якій висоті крила літака почнуть покриватись інеєм, якщо температура на злітній смузі 20° С.

Насамперед розгляньмо процес утворення інею. Кожний з вас багато разів бачив, як морозного ранку на стеблах трави і гілках дерев утворювалась біла наморозь. Її ще називають паморозь або іней. Іней – це тонкий шар кристалів льоду, що утворюється завдяки осіданню водяної пари з повітря на охолоджені предмети.

У природі іній утворюється зранку, коли вночі температура знижується, а це передусім призводить до зростання відносної вологості повітря. Якщо вологість досягає 100 % (водяна пара стає насиченою), утворюється конденсат на поверхні; а якщо температура спаде нижче від 0° С, то вода замерзне та утвориться іней. Це відбувається тоді, коли точка роси у певний час була вища від 0° С. А якщо буде нижча від 0° С, то водяна пара відразу переходитиме у твердий стан води – утворюватиметься іней. Абсолютна вологість повітря – це величина, що характеризує кількість водяної пари в 1 м³ повітря. Відносна вологість повітря – це величина, яку вимірюють відношенням абсолютної вологості до кількості пари, потрібної для насичення 1 м³ повітря за тієї самої температури.

Розгляньмо умову задачі. Оскільки день сонячний, на небі немає хмар. Хмара за своєю структурою складаються з маленьких кристаликів льоду й дуже малих (≈ 0,01мм) крапель води. Чому утворюються хмари? Тепле повітря з поверхні землі піднімається конвекційними потоками з висотою, охолоджуючись, відносна вологість зростає. Якщо вона досягає 100% на цій висоті утворюється хмара. З умови випливає, що відносна вологість повітря на всіх висотах менша від 100%. Для спрощення обчислень припустімо, що відносна вологість повітря на всіх висотах стала і дорівнює 70%. Багато хто з вас бачив, як безхмарного дня, літак на небі залишав після себе білий слід (інверсний слід). Цей процес аналогічний до утворення інею на крилах літака у цій задачі. Пропонуємо її розв'язання.

Літак тримається у повітрі завдяки дії підіймальної сили. Це забезпечує специфічна форма крил (рис.1). Над крилом повітря розріджується, тобто над крилом тиск менший, ніж під ним. Різниця сил тиску на крило створює піднімальну силу. Різницю тисків з верху і знизу крила літака можна обчислити за формулою (1)

$$\Delta p = \frac{mg}{S}, \qquad (1)$$

де m – маса літака, S – площа крил, g – прискорення вільного падіння.

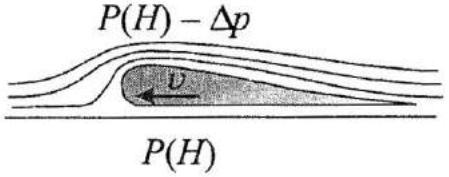


Рис. 1. *Схема обтікання повітря крила літака*

Зазвичай літаки літають до висот 10–13 км, хоча деякі можуть літати й вище (наприклад, МіГ-31 – 20,7 км). Для реактивних 13–16 км.

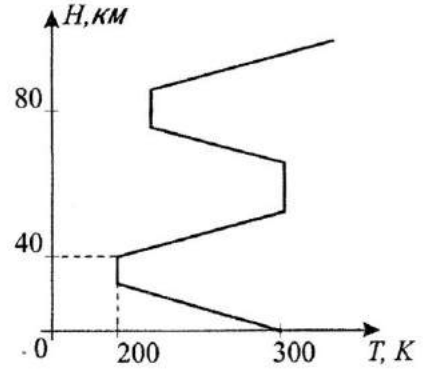


Рис. 2. *Залежність температури земної атмосфери від висоти*

Характер зміни температури земної атмосфери з висотою одержано під час метеорологічних досліджень (рис. 2). І за результатами цих досліджень введено поняття міжнародної стандартної атмосфери (МСА). Для МСА прийнято такі умови: тиск на рівні моря при 15° С дорівнює $1{,}013 \cdot 10^3$ Па, вертикальний градієнт температури становить 5,6 К/км до рівня 11 км (умовна межа початку стратосфери), де температура знижується до – 56,5° С.

Знайдімо залежність тиску повітря від висоти. Атмосферу вважаймо ідеальним газом. Із піднятям на dh тиск відповідно зменшується на dp. Оскільки в тонкому шарі повітря (товщиною dh) густину повітря можна вважати сталою, то

$$dp = -\rho \cdot g \cdot dh \,, \qquad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Очевидно, що з висотою прискорення вільного падіння змінюється так:

$$g_1 = g_0 \left(\frac{R_{\text{землі}}}{R_{\text{землі}} + H} \right)^2$$

і при $H = 20$ км $g_1 \approx 0{,}994 \cdot g_0$,

де $g_0 = 9{,}81$ м/с^2). Тобто, вважатимемо, що g = const.

Відомо, що $\rho = m_0 \cdot n_0$, де m_0 – маса молекули; n_0 – кількість молекул в одиниці об'єму. З основного рівняння кінетичної теорії газів маємо $n_0 = \frac{p}{k \cdot T}$. Тоді

$$dp = -\frac{m_0 \cdot g \cdot p}{k \cdot (T_0 - \alpha \cdot h)} dh \,. \qquad (3)$$

Розділімо в (3) змінні

$$\frac{dp}{p} = -\frac{m_0 \cdot g}{k \cdot (T_0 - \alpha \cdot h)} dh \,. \qquad (4)$$

Інтегруючи (4) у межах від p_0 до p і h_0 до h, враховуючи, що $m_0 = \mu / N_A$, де μ – молярна маса повітря, N_A – число Авогадро, маємо

$$\int_{p_0}^{p} \frac{dp}{p} = \int_0^h \left(-\frac{m_0 g}{k(T_0 - \alpha h)} \right) dh \,. \qquad (5)$$

$$p(h) = p_0 \left(1 - \frac{\alpha h}{T_0} \right)^{\mu g / \alpha h} \,. \qquad (6)$$

Для оцінювання виберімо малу масу газу dm на висоті польоту перед літаком (рис. 3). За деякий час ця маса газу потрапляє на крило і розширюється. Швидкість повітря відносно літака велика, тобто розширення відбувається дуже швидко. Водночас повітря є хорошим термоізолятором і за час розширення воно не встигне віддати енергію довкіллю. Ці аргументи дають підставу розглядати процес розширення як адіабатичне.

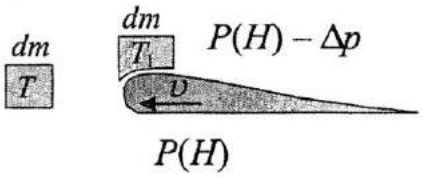


Рис. 3. *Адіабатичне розширення повітря над крилом літака*

Закон адіабатичного розширення дає змогу знайти зміну температури у вибраному нами об'ємі газу маси dm

$$T \cdot V^{\gamma - 1} = \text{const} \,, \qquad (5)$$

$\gamma = C_p / C_V$ – це показник адіабати, або коефіцієнт Пуассона. Він залежить від виду газу. Для багатьох атомних газів, пари води, спиртів, бензолів, метану та ін.

$$C_p = 4R, \; C_V = 3R \,,$$

де R – молярна газова стала (R = 8,31451 Дж/(моль·К)), γ =4/3.

Рівність (5) називають рівнянням Пуассона. Комбінуючи його з рівнянням Менделєєва-Клапейрона, отримаємо

$$p \cdot T^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = \text{const} \,. \qquad (6)$$

Підставляючи дані в (6), отримаємо

$$P(h) \cdot T(h)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = [P(h) - \Delta P] T_1^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \,. \qquad (7)$$

Виразімо T_1 з рівняння (7)

$$T_1 = T(h) \left[\frac{P(h)}{P(h) - \Delta P} \right]^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \,, \qquad (8)$$

Таблиця

A	B	C	D	E	F	G	
Температура під крилом, °С	Висота польоту, м	Тиск, Па	Температура над крилом, °С	Густина насиченої пари під крилом, г/м³	Математично можлива густина водяної пари при відсутності конденсацій над крилом, г/м³	Густина насиченої пари над крилом, г/м³	Стан води
20	0	101300	15	17,32	12,74	12,84	Ненасичена водяна пара
19	179	99206	14	16,32	12,02	12,08	
18	357	97148	13	15,39	11,35	11,36	
17	536	95126	12	14,50	10,70	10,67	Утворення крапель води
16	714	93139	11	13,65	10,09	10,02	
15	893	91187	10	12,84	9,50	9,41	
14	1071	89270	9	12,08	8,95	8,83	
13	1250	87386	8	11,36	8,43	8,28	
12	1429	85535	6	10,67	7,93	7,79	
11	1607	83718	5	10,02	7,45	7,27	
10	1786	81933	4	9,41	7,01	6,37	
9	1964	80180	3	8,83	6,59	5,95	
8	2143	78458	2	8,28	6,18	5,57	
7	2321	76767	1	7,79	5,83	5,20	
6	2500	75107	–0,2	7,27	5,45	4,85	Малоймовірне утворення інею
5	2679	73477	–1	6,80	5,10	4,49	
4	2857	71877	–3	6,37	4,79	3,83	
3	3036	70306	–4	5,95	4,48	3,53	
2	3214	68764	–5	5,57	4,20	3,25	
1	3393	67250	–6	5,20	3,93	3,11	
0	3571	65764	–7	4,85	3,67	2,96	
–1	3750	64306	–8	4,49	3,40	2,82	Утворюється іній
–2	3929	62875	–9	4,14	3,15	2,67	
–3	4107	61471	–10	3,83	2,92	2,53	
–4	4286	60092	–12	3,53	2,69	2,24	
–5	4464	58740	–13	3,25	2,48	2,10	
–6	4643	57414	–14	3,11	2,38	1,96	
–7	4821	56112	–15	2,96	2,27	1,81	
–8	5000	54836	–16	2,82	2,17	1,66	
–9	5179	53583	–17	2,67	2,06	1,52	
–10	5357	52355	–19	2,53	1,96	1,23	
–11	5536	51151	–20	2,39	1,85	1,09	
–12	5714	49969	–21	2,24	1,74	0,95	
–13	5893	48811	–22	2,10	1,64	0,80	
–14	6071	47675	–23	1,96	1,53	0,66	

де $T(h)$ – температура газу далеко від крила, $P(h)$ – тиск газу далеко від крила (на висоті польоту), ΔP – різниця тисків (вона постійна), $P(h) - \Delta P$ – тиск над крилом, T_1 – температура газу над крилом.

Відносна вологість повітря на всіх висотах менша від 100%. За цих умов утворення твердої чи рідкої фази стане можливим, якщо температура над крилом літака знизиться до температури, меншої від температури точки роси. Іней почне утворюватися, коли температура поверхні крила та атмосфери на висоті польоту будуть менші від 0° С, бо іней – це тверда фаза води!

Щоб оцінити масу води, яка перейде з газоподібної фази в тверду на різних висотах, складімо на основі фазової діаграми води таблицю, де використовуватимуться нижче подані формули:

$$H = \frac{T - T_0}{\alpha}, \tag{9}$$

$$P(h) = p_0 \cdot \left(1 - \frac{\alpha \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{M \cdot g}{\alpha \cdot R}}, \tag{10}$$

$$T_1 = T \cdot \left(\frac{P(h)}{P(h) - \Delta P}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}. \tag{11}$$

Густина пари обчислюється як $\rho_1 \cdot \phi$. Якщо температура знизиться до точки роси, то пара стане насиченою

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \phi \cdot \left(\frac{T_1}{T}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}, \qquad (12)$$

$$\Delta P = \frac{m \cdot g}{S} = 1{,}5 \cdot 10^4 \text{ Па}. \qquad (13)$$

У стовпці **A** таблиці подано температуру повітря на висоті польоту літака, знайдену за формулою (9); у стовпці **C** – тиск, обчислений за формулою (10); у стовпці **D** – температуру над крилом літака, обчислену за формулою (11); у стовпці **F** – обчислену за формулою (12) „математично можливу густину водяної пари над крилом"; у стовпцях **E, G, H** подано густину насиченої водяної пари за певної температури.

Отже, якщо літак злітає сонячного дня, утворення інею на його крилах можливо на висотах понад 3000 м.

Зазначмо, що утворення інею на крилах літака та інших його частинах безумовно є шкідливим. Тому для запобігання значного обледеніння літаків у авіації застосовують пристрої (системи) запобігання обледенінню. Наприклад, пропускаючи електричний струм по поверхні лобового склі літака, його очищають від інею.

Література:

1. Кучерук І.М. Загальний курс з фізики. К.: Техніка, 1999. Т. 1. С. 162–176; 331–336, 383–396.
2. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. М.: Наука, 1968. Т. 1. С. 384–418; 617–628.
3. Єнохович А.С. Справочник по физике. М.: Просвещение, 1989. С. 97–119.
4. Кухлінг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982.
5. Квант. 1985. № 8. С. 18–21.

Веб-сайти:
phys.web.ru/db/msg
www.rcnp.kiev.ua/main/arxiv/14/panorama.htm
newfiz.narod.ru

7. Українська Радянська Енциклопедія. Т. 5. С. 306–307; Т. 6. С. 194.

Олексій Пристай,
учень 11-го класу Львівського фізико-математичного ліцею

Чи знаєте Ви, що...

НІК ГОЛОНЯК ОТРИМАВ ПЕРШУ МІЖНАРОДНУ ЕНЕРГЕТИЧНУ ПРЕМІЮ „ГЛОБАЛЬНА ЕНЕРГІЯ"

У 2002 році засновано Міжнародну енергетичну премію „Глобальна енергія" – нову наукову нагороду за видатні теоретичні, експериментальні й прикладні дослідження, розробки, винаходи і відкриття в галузі енергетики. Премію „Глобальна енергія" 2003 року вручили вперше *Ніку Голоняку – видатному американському науковцеві українського походження, професорові Іллінойського університету, членові Національної і Національної інженерної академій наук США та Генадієві Мєсяцю – докторові технічних наук, професорові, академікові Російської АН разом з відомим американським ученим Яном Дугласом Смітом, фахівцем в галузі потужної імпульсної енергетики, ізоляційної техніки і мегавольтної комутаційної техніки.*

Нік Голоняк зробив вирішальний внесок у створення кремнієвих p-n-p-n ключів і керованих кремнієвих випрямлячів (тиристорів). Цей напівпровідниковий прилад нині використовується у багатьох енергетичних установках. Піонерська праця Ніка Голоняка із колегами з лабораторії „Белл Телефон", яка була опублікована 1956 року, зіграла вагому роль у розвитку силової кремнієвої електроніки і кремнієвої мікроелектроніки. Створена ними дифузійна технологія p-n-p-n ключів лягла в основу розробки 1957 року фірмою „Дженерал Електрик" перших тиристорів. Отже, професор Нік Голоняк є одним із творців силової кремнієвої електроніки. Іншим найважливішим досягненням професора Н. Голоняка в галузі енергетики є винахід перших напівпровідникових світлодіодів у видимій області спектру. Воно зіграло величезну роль у розвитку сучасних енергозберігаючих систем електричного освітлення.

ПРИДУМАЙ САМ

На XI Всеукраїнському турнірі юних фізиків 2003 року пропонували задачу „Придумай сам".

Краплинка масла перебуває у підвішеному стані в деякому розчині. Запропонуйте безконтактний метод, який викликав би зворотно-поступальний рух краплинки. Які характеристики масла дасть змогу визначити метод, який Ви запропонували?

Визначімось, що таке безконтактний метод. Це такий метод, який дає змогу урухомити краплинку в рух, не наближаючись до неї жодним приладом ближче, ніж на яку-небудь задану відстань.

Залишилось придумати відповідний метод. Оскільки, це безконтактний метод, то перше, що спадає на думку – це використати електричне чи магнетне поле. Проаналізуймо дію цих полів на краплинку, що плаває у підвішеному стані в якому-небудь розчині.

Електричне поле

Під дією однорідного електричного поля відбувається поляризація діелектриків. Те ж саме відбуватиметься з рідинами, якщо вони теж діелектричні. Якщо ж рідина (середовище) є провідником, то електричне поле зовсім екранується.

Можно скористатись тим, що в неоднорідному електричному полі діелектрики внаслідок поляризації втягуються в область скупчення силових ліній, тобто зростає напруженість електричного поля. Виходить, якщо прикласти неоднорідне електричне поле, то через різницю в діелектричних проникливостях масла і рідини виникає сила, яка діє на масло. А отже, здавалося б, поставлена мета досягнута. Однак розрахунок показує, що для того, щоб помітити цей ефект експериментально, електричне поле має бути настільки неоднорідним, що створити його, маючи лише шкільне приладдя, не можливо.

Магнетне поле

Як і для електричного поля розгляньмо дію на краплинку однорідного й неоднорідного магнетних полів.

Однорідне магнетне поле не може зумовити поступального руху краплинки. Воно орієнтуватиме її вздовж силових ліній поля, однак, оскільки краплинка сферична, то ми і цього не помітим.

Неоднорідне магнетне поле буде втягувати краплинку в область згущення ліній магнетної індукції, якщо вона має парамагнетні властивості. Так само магнетне поле діятиме на рідину. Якщо рідина має діамагнетні властивості, то магнетне поле виштовхуватиме її в область розрідження ліній магнетної індукції. Через різні магнетні проникливості масла і рідини може виникнути сила, що діє на краплинку, а отже, вона буде рухатися поступально. Однак і цей метод важко реалізувати експериментально, тому, що треба створити сильне неоднорідне магнетне поле, а це технічно важко зробити, маючи лише шкільне обладнання.

Тепловий метод

Як видно із попередніх міркувань, використовуючи електричне і магнетне поле, помітного ефекту добитися важко. Спробуймо придумати метод, який дав би змогу змусити краплинку рухатися зворотно-поступально, не використовуючи поля. Привабливим виглядає метод, який давав би змогу здійснити зворотно-поступальний рух краплинки, який ґрунтується на різниці температурних коефіцієнтів об'ємного розширення масла і рідини.

Нехай за деякої температури краплинка масла містилась у рідині в байдужій рівновазі. Вважаймо, що коефіцієнт об'ємного розширення у масла більший, ніж у рідині. Це означає, що зі зростанням температури густина масла зменшується швидше, ніж густина рідини. Отже, якщо їх нагріти, то порушиться рівновага. Оскільки густина масла зменшиться швидше, ніж густина рі-

дини, то краплинка почне спливати. У цьому випадку силу, яка діятиме на краплинку, можна визначити з формули

$$F = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho \cdot (\alpha - \beta) \cdot g \cdot \Delta T ,$$

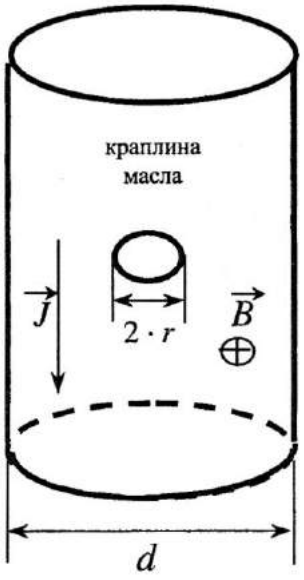
де R – радіус краплинки; α – коефіцієнт об'ємного розширення масла; β – коефіцієнт об'ємного розширення рідини; g – прискорення вільного падіння; ρ – початкова густина рідини, що дорівнює початковій густині масла, оскільки спочатку краплинка перебувала в положенні байдужої рівноваги; ΔT – різниця температур, до якої нагріли рідину і початкової температури.

Якщо оцінити порядок величини цієї сили, то побачимо, цей ефект можна виявити експериментально.

Щоб спостерігати за рухом краплинки у рідині, по-перше, треба приготувати розчин такої ж густини як масла. Для цього можна використати етиловий спирт (96%) і воду. На початку помістимо краплинку масла у спирт. Оскільки густина спирту менша від густини масла, то краплинка потоне. Доливаючи до спирту води, можна добитись, що краплинка перестане тонути. Нагріваючи або охолоджуючи рідину, можна спостерігати зворотно-поступальний рух краплинки. Це насправді й спостерігається на експерименті. Однак цей метод має істотні недоліки. Енергія, яку витрачають на нагрів системи, пропорційна кубові лінійного розміру системи, тобто відстань, на яку ми наближаємося до краплинки, а отже, ефективність цього методу швидко падає зі збільшенням розмірів системи. Другим недоліком є те, що через виникнення конвекційних потоків і неоднорідності прогрівання рідини поставити експеримент з перевірки відповідності теорії насправді неможливо. Тому треба придумати інший метод, який був би динамічнішим і його можна було б теоретично описати.

Електромагнетний метод

Цей метод полягає в тому, що якщо через рідину пропускати електричний струм, то, оскільки масло – діелектрик, через нього струм не протікатиме. Якщо помістити всю систему в магнетне поле, яке перпендикулярне до напрямку струму, то на рідину діятиме сила Ампера, водночас як на краплинку масла ця сила не діятиме. На краплинку діятиме сила, аналогічна до сили Архімеда й напрямлена проти сили Ампера.



Силу, аналогічну до сили Архімеда, можна описати формулою:

$$F_A^* = \rho \cdot V \cdot a^* ,$$

де a^* – прискорення, з яким би рухалась рідина під дією сили Ампера, якщо б не було стінок.

Розгляньмо маленький об'єм розчину завдовжки l і перерізом s. На цей об'єм діє сила Лоренца

$$F_{Лоренц} = j \cdot s \cdot B \cdot l ,$$

тоді

$$a^* = \frac{j \cdot B}{\rho} ,$$

де j – густина струму; B – індукція магнетного поля; ρ – густина рідини (така ж густина і крапельки).

Насправді під час руху краплинки, крім сили F_A^*, на неї діятиме ще сила опору рідини. Щоб визначити природу сил опору, треба оцінити число Рейнольдса для нашої краплинки.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\eta_{dyn}} .$$

Отримане число Рейнольдса приблизно дорівнює одиниці. Однак ми вважатимемо, що сила

опору має в'язкісний характер. Це аргументується тим, для того, щоб за краплинкою утворився стійкий вихор, має минути певний час, який можна оцінити з міркувань розмірності

$$\tau \approx \frac{\nu \cdot l^3}{\eta_k^2} .$$

Час встановлення вихрів становить десятки секунд, а отже, під час перемикання напрямку струму за 1 секунду, вихри не встигатимуть утворюватися. Отже, ми прийшли до задачі про рух тіла у в'язкому середовищі. Запишімо другий закон Ньютона для краплинки масла

$$m^* \cdot a = F_a^* - 6 \cdot \pi \cdot \eta_{динамич} \cdot R \cdot v ,$$

де $m^* = \frac{4}{3} \cdot \pi\rho \cdot R^3 + \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^3$ – маса краплинки з урахуванням приєднаної маси рідини;

$F_A^* = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot j \cdot B$ – квазіархімедова сила.

Це рівняння описує коливальний рух краплинки під дією періодичної сили. Вимушувальну періодичну силу можна розкласти в ряд Фур'є, а далі скористаємось відомими залежностями амплітуди вимушених коливань від частоти вимушувальної гармонійної сили.

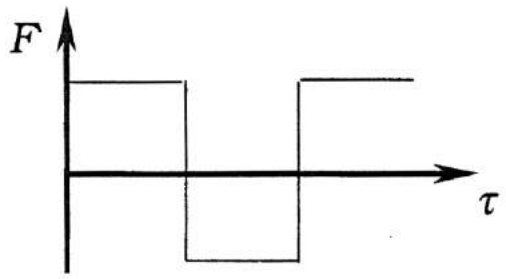


Рис. 1. *Залежність квазіархімедової сили від часу*

Такій періодичній силі (рис. 1) відповідає розклад Фур'є:

$$F = F_0 \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{2i+1} \sin((2i+1) \cdot \omega_0 \cdot t) ,$$

де ω_0 – частота вимушувальної сили.

Амплітуда коливань краплинки масла від частоти перемикання напрямку струму з врахуванням n членів у ряді Фур'є буде:

$$A = \sum_{i=0}^{n} \frac{a^*}{\sqrt{((2i+1) \cdot \omega)^4 + (2 \cdot \alpha \cdot (2i+1) \cdot \omega)^2}} .$$

На рис. 2 зображена залежність амплітуди коливань краплинки масла від частоти перемикання напрямку струму для випадку, коли ми розглядаємо один, два, три і чотири члени в ряді Фур'є. Як видно, графіки, побудовані для трьох і чотирьох членів ряду Фур'є, майже збігаються. Різниця між результатами, пораховані з урахуванням наступних членів ряду буде ще менша, а точність, з якою порахована результуюча амплітуда коливання, буде значно вища від точності, з якою можна цю амплітуду виміряти. Тому немає сенсу проводити розрахунок з урахуванням більше ніж трьох-чотирьох членів ряду.

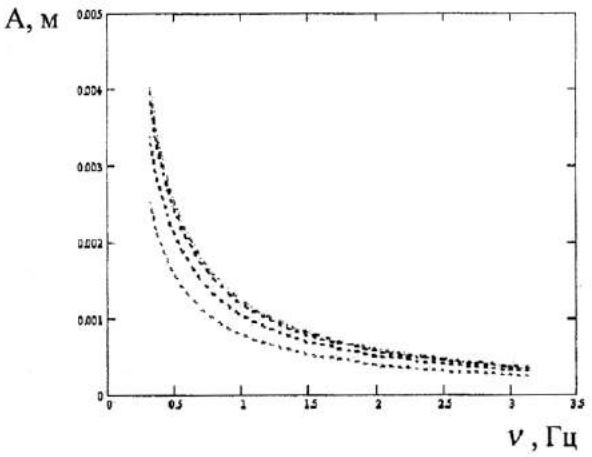


Рис. 2.

Проведімо експеримент для порівняння амплітуди коливання кульки із заданою частотою перемикання струму з теоретично розрахованою амплітудою при цьому ж часі перемикання.

Спосіб отримання розчину такої ж густини, як і в масла майже такий самий, як у тепловому методі, лише з однією відмінністю. Оскільки середовище має бути електропровідним, то замість водяного розчину спирту ми використовували підсолений водяний розчин спирту.

На рис. 3 зображена експериментальна установка. Її характеристики подано в таблиці.

За таких параметрів

$$a^* = 9 \cdot 10^{-3} \frac{м}{c^2}, \quad \alpha = \frac{9 \cdot \eta_{динам}}{2 \cdot R^2 \cdot \rho} = 3.5\ c^{-1} .$$

При частоті перемикання $\nu = 0.5\ Гц$ теоретична амплітуда коливань – $A = 3$ мм.

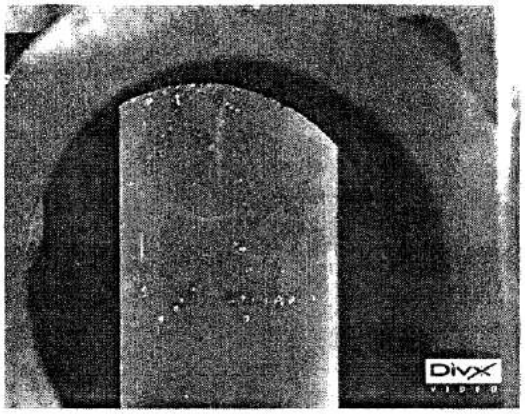


Рис. 3.

Експериментально амплітуду коливань ми визначили за допомогою відеозапису. Послідовно перемикаючи кадри відеозапису експерименту, ми визначити крайні положення, у яких перебувала краплинка (відстань, яку вона проходила, удвічі більша від амплітуди коливань). Ми мали змогу виміряти цю відстань на екрані. Але нам потрібно було знайти, у скільки разів ця відстань на екрані збільшена порівняно зі справжньою. Порівнявши діаметр трубки на екрані зі справжнім, ми визначили у скільки разів зображення на екрані збільшене, а отже, встановили справжню амплітуду коливань. Однак тут є одна тонкість. Річ у тім, що оскільки трубка циліндрична, а оптична густина середовища відрізняється від оптичної густини повітря, то ми спостерігаємо коливання краплинки через циліндричну лінзу, завдяки чому краплинка ніби розтягнулася по горизонталі, що добре видно з рис. 1. Урахувати це спотворення зображення можна, знайшовши відношення діаметра краплинки по горизонталі (розтягнуте) і по вертикалі (не спотворене), а тоді порахувати, якій реальній амплітуді коливань відповідає виміряне раніше значення амплітуди. За описаних вище умов амплітуда дорівнювала $A_{эксп} = 4\ мм$, що добре узгоджувалось із теоретично передбаченою амплітудою.

Цей метод, порівняно з тепловим, має низку переваг. По-перше, електромагнетний метод динамічніший, ніж тепловий (період коливань може становити декілька секунд, порівняно з кількома хвилинами у тепловому методі). По-друге, він економічніший, оскільки енергія витрачається лише на подолання сил опору і на зміну напрямку руху краплинки, а в тепловому методі, крім цього, ще на нагрів середовища. По-третє, ефективність цього методу падає повільніше зі збільшенням розмірів системи, оскільки щоб напруженість електричного поля залишалась постійною, треба збільшити прикладену напругу пропорційно до лінійного розміру системи, що вигідніше, ніж у тепловому методі.

Олег Матвейчук, Сергій Самошкін,
Сергій Піпко, Генадій Старостін,
Олександр Чепижко,
П.А. Віктор (керівник команди)
Ришельєвський ліцей, Одеса

Поміркуйте, чи справді запропонований у цій статті метод створення зворотно-поступального руху краплинки масла у рідині насправді є безконтактним? Свої роздуми надсилайте на адресу редакції журналу „Світ фізики"

$I = 9 \cdot 10^{-2} A$	струм у трубці з розчином
$S = 5 \cdot 10^{-4} м^2$	переріз трубки
$\rho = 800 \frac{кг}{м^3}$	густина середовища
$B = 4 \cdot 10^{-2} Тл$	індукція магнетного поля у трубці
$\eta_{динам} = 10^{-2} \frac{кг}{м \cdot с}$	динамічна в'язкість середовища

НЕЙТРИННІ ЕКСПЕРИМЕНТИ

Два роки тому в журналі „Світ фізики" (2000. № 4) ми повідомляли, що японські науковці, аналізуючи результати, отримані на нейтринному детекторі Супер-Каміоканде (вони аналізували потоки мюонів, які потрапляли в детектор згори та знизу), дійшли висновку про осциляції нейтрино. Якби осциляцій не було, то потоки мюонів, що потрапляють у детектор з різних напрямків були б однакові. Самі мюони, як і будь-які інші заряджені частинки, не можуть потрапити в детектор через товщу землі, оскільки детектор розміщений у глибокій шахті. Зареєстровані мюони були породжені мюонними нейтрино, які майже без поглинання прийшли до детектора із протилежного боку Землі (знизу), і згори. Якщо ж є осциляції нейтрино, то подій у тих напрямах, де проходять нейтрино більший шлях, має бути менше. Що і спостерігалось під час експерименту.

Нині науковці планують підтвердити чи спростувати ці висновки, здійснивши осциляційний експеримент, під час якого створені дослідниками потужні потоки нейтрино контролюватимуть з високою точністю. Такі експерименти планують провести в США та Європі. Обидва експерименти передбачають використання двох потужних прискорювачів: у лабораторії імені Фермі, розташованої поблизу Чикаго (експеримент MINOS – Main Injector Oscillation Search) та ЦЕРНі – Європейському центрі ядерних досліджень, розташованого на кордоні Швайцарії та Франції, неподалік від Женеви. В обох експериментах потік нейтрино утворюватиметься під час бомбардування мішені протонами високої енергії. Одним із продуктів цієї реакції будуть мюони та нейтрино. Потік частинок, пройшовши через шари заліза і землі, вже через 800 метрів стане чистим потоком мюонних нейтрино з безмежно малою часткою (контрольованою) електронних нейтрино. Нейтрино із лабораторії Фермі будуть скеровані у підземну лабораторію, розташовану в штаті Міннесота, а з ЦЕРНу – у лабораторію Гран-Сассо в Італії, розташовану неподалік (100 км) від Риму. В обох експериментах віддаль від джерела нейтрино до детектора, де їх реєструватимуть, майже 730 кілометрів, однак ці експерименти ґрунтуються на двох різних підходах, які доповнюють один одного, що безсумнівно збільшить надійність і цінність отриманих результатів.

В експерименті MINOS використають два великих детектори – ближній і дальній. Ближній детектор розташують поблизу прискорювача і він контролюватиме склад пучка щойно народжених нейтрино. Дальній детектор реєструватиме цей пучок після 730 кілометрового пробігу в товщі Землі, на який нейтрино затратять лише 0,0025 секунди. Якщо нейтрино осцилюють на цьому шляху, у дальному детекторі реєструватимуть менше мюонних нейтрино, ніж у ближньому. Детектори складатимуться із сталевих дисків діаметром 8 метрів і завтовшки 2,5 сантиметрів, між якими розташують пластини сцинтилятора, в яких з'являтимуться спалахи світла, якщо на них потраплять мюони, породжені мюонними нейтрино. Довжина дальнього детектора майже 50 метрів, а загальна маса майже 8000 тонн! Ближній детектор удвічі менший. Обидва детектори розташують у сильному магнетному полі, яке відхилятиме мюони від їхньої початкової траєкторії, що дасть змогу визначити імпульс частинок за кривизною їх траєкторії. Синхронізація роботи прискорювача і детекторів здійснюватиметься через супутник, а результати опрацьовуватимуть сучасні потужні комп'ютери.

Потік нейтрино із лабораторії Фермі в Мінесоту становитиме майже 10^{19} за рік. Незважаючи на такий великий потік нейтрино, в дальному детекторі планують реєструвати на рік лише 20000 подій, оскільки ймовірність взаємодії нейтрино з речовиною надзвичайно мала. Але цього буде достатньо, щоб підтвердити чи спростувати результат, отриманий на Супер Каміоканде. У проєкті беруть участь фізики США, Великобританії, Росії і Китаю. Реєстрацію перших нейтринних подій планують провести наприкінці 2003 року.

Експерименти в ЦЕРНі – Гран-Сассо планують розпочати на два роки пізніше. У цих експериментах реєструватимуть τ-нейтрино, які теж утворяться завдяки осциляції нейтрино. Для реєстрації τ-лепнонів планують використати бульбашкову камеру, яка міститиме 5000 тонн зрідженого аргону та декілька тисяч тон ядерної фотоемульсії. В експерименті братимуть участь науковці Італії, Швайцарії, Франції та Росії.

Олександр Гальчинський

ФІЗИКИ І ШАХИ

Адріан Михальчишин,
*міжнародний гросмейстер**

Мене як колишнього фізика (я закінчив фізичний факультет Львівського університету імені Івана Франка) завжди цікавило, хто із сучасних і колишніх гросмейстерів займався фізикою, а хто з великих фізиків – шахами.

Фізика близька до математики, і тому не дивно, що серед математиків шахи дуже поширені. Можливо, тут велике значення має сама будова шахової дошки, як магічного квадрата, й різні математичні комбінації на шаховій дошці. Великий Леонард Ейлер математично розв'язав задачу обходу конем на всій шаховій дошці за умови, що кінь „скаче" на кожне поле лише раз. Математичні терміни теорії графів широко використовують для ілюстрації шахових понять і задач. Є математичний підхід до сили фігур, створюють комп'ютерні шахові програми, хоча великий Ляйбніц зауважив, що шахову гру неможливо формалізувати.

Великий фізик-теоретик Лев Ландау вважав, що математика проникла в усі професії: „...Шахи – це також математика. Я в математиці сильніший від Самюеля Осовця, відповідно, Осовець слабкіший від мене в шахах". Та, програвши йому декілька партій, Ландау усміхнувшись, сказав: „Все, зрозумів – шахи – не математика. А Самюель Осовець, доктор фізики і відомий фахівець у галузі теорії плазми, був чемпіоном Харкова у 20-і роки XX сторіччя. Він навчався у великого етюдиста Олексія Селезньова і брата великого Альохіна. Сам С. Осовець любив музику і якось запросив Ландау на концерт великого скрипаля Хейфеця. Після першого твору та оплесків глядачів Ландау сказав: „Я зрозумів: мене не цікавлять звукові коливання, а лише електромагнетні" і залишив залу. Нічого дивного, але в шаховому світі математиків більше, ніж фізиків.

Математики-англійці – міжнародні гросмейстери Джон Нун (John Nunn), Джон Спілман (John Speelman) і Джонатан Местел (Johnatan Mestel). Міжнародний майстер Джон Літлевуд (John Littlewood) також є математиком. Його брат слабше грає в шахи, зате є одним з відомих математиків сучасності. Є математики й серед гросмейстерів – чех Ян Шмейкал (Jan Smejkal), німці Лайнер Кнак (Rainer Knaak) і Буркгард Маліх (Burkhard Malich), американець Кен Рогоф (Ken Rogoff), канадієць Дункан Сатлес (Duncan Suttles). Міжнародний майстер Мирослав Катетов став відомим математиком, ректором Карлового університету в Празі.

Повернімось до фізики – із сучасних гросмейстерів, крім автора, фізиками є росіяни Володимир Малахов і Сергій Шипов, а також чемпіон Европи поляк Бартоломей Мацея. Викладачами фізики були великий угорський гросмейстер Гедеон Барца, німецький гросмейстер Лутц Еспіг (Lutz Espig), хорватський гросмейстер Юрай Ніколац, а також шахові композитори – українець Валерій Власенко і француз Клауде Ґаймоуді (Claude Gaumoudi).

***Адріан МИХАЛЬЧИШИН** народився 18 листопада 1954 року у Львові, закінчив фізичний факультет Львівського університету імені Івана Франка (кафедра теоретичної фізики). Відомий шахіст зі світовим іменем, міжнародний гросмейстер, чемпіон світу зі шахів серед молоді 1977, 1980 рр., чемпіон СРСР серед молоді 1977 р., переможець Спартакіади СРСР 1979 р., чемпіон Словенії 2002 р., тренер чемпіонів світу А. Карпова та Ж. Полгар, переможець міжнародних турнірів у Римі (1977), Брно (1990), Варшаві (2001).*

Автор 18 книжок, які надруковані в Англії, США, Югославії, Іспанії та Італії.

Геофізиком є український шаховий композитор Сергій Шедей, а фізичною хемією займається хорватський міжнародний майстер Андрій Фудерер. Фізик – росіянка Лора Яковлева – чемпіонка світу за листуванням, а докторами фізики стали чемпіон світу за листуванням американець Віктор Палсчяускас (Viktor Palciauskas) і грузинський шаховий композитор Йосиф Кріхелі. Міжнародні майстри естонець Іво Ней і нідерландець Франціс Куйперс (Francis Kujpers) – також фізики. Великий словенський гросмейстер доктор Мілан Відмар був одним із видатних у світі фахівцем з трансформаторів, ректором Люблянського університету, а навчався він у Будапешті у великого шахового композитора Отто Блати (Otto Blaty), одного із засновників виробництва трансформаторів.

У Росії 2002 р. відбувся чемпіонат з шахів Міністерства атомної енергетики, Меморіал академіка М. Долежаля, великого конструктора реакторів й аматора-шахіста. Серед учасників були гросмейстер – фізик Андрій Нікітін і міжнародні майстри А. Лоскутов і А. Кірілов. У наступних меморіалах планують брати участь команди Франції та Бельгії.

Великий фізик Петро Капиця все своє життя любив шахи, був навіть чемпіоном Кембриджу. Граючи шахи самовіддано, зустрічався і грав з екс-чемпіонами світу Смисловим і Ботвінніком, з англійськими майстрами, і мав успіх. Академік П. Лукірський у 1920-і роки у себе на квартирі в Петербурзі організував шаховий клуб, активним членом якого був П. Капиця.

Видатні фізики Альберт Айнштайн та Емануїл Ласкер часто зустрічались не лише приватно, а й на наукових семінарах, де, правда, дотримувались різних наукових поглядів. Е. Ласкер належав до групи науковців, яка заперечувала постійну швидкість світла. А. Айнштайн високо цінував інтелектуальний потенціал Ласкера і порівнював його з Спінозою, зокрема, й за те, що Ласкер заробляв на життя шахами, а головним його зацікавленням була філософія (він був математиком і мав звання доктора філософії). А. Айнштайн написав главу для книжки про Ласкера. Айнштайн сам любив шахи, і ось його партія з другим великим фізиком.

А. Айнштайн – Р. Оппенгаймер

1.e4 e5 2.Nf3 Nc6 3.Bb5 a6 4.Ba4 b5 5.Bb3 Nf6 6.0-0 Nxe4 7.Re1 d5 8.a4 b4 9.d3 Nc5 10.Nxe5 Ne7 11.Qf3 f6?

Оппенгаймер не доглядів типового маневру.

12.Qh5 g6 13.Nxg6! hxg6 14.Qxh8 Nxb3 15.cxb3 Qd6 16.Bh6 Kd7 17.Bxf8 Bb7 18.Qg7 Re8 18.Nd2 c5 20.Rad1 a5 21.Nc4! dxc4 22.dxc4 Qxd1 23.Rxd1 Kc8 24.Bxe7 Чорні здались.

Академіки А. Ішлинський і І.Тамм часто грали з майстром і доктором І. Погребинським легкі партії. В Ішлинського запитали, чи варто вкладати в шахи стільки праці. Він відповів: „Варто, тому, що шахи дають людині більше, ніж вона витрачає на них".

Великим центром шахового життя було наукове містечко фізиків у Дубні (нині Росія). Почалось усе з великої любові до шахів академіків Б. Понтекорво і М. Мещерякова. У 1970 році відкрито шаховий клуб „Від пішака до ферзя". У Дубні проводили багато міжнародних шахових турнірів під керівництвом академіка Флерова.

Із професорів фізики шахістом визнають професора Київського університету імені Т. Шевченка майстра Владислава Шияновського, багаторазового учасника фіналу Чемпіонату СРСР із шахів.

Видатний італійський математик і фізик Джіроламо Кардано (1501–1576) дослідив теорію ігор, і один з його томів був присвячений саме шахам, але він не зберігся. В автобіографії учений описав драматичні епізоди, які пов'язані з шахами, насамперед з князем Франческо Сфорцо. Він схвалив систему друкування шахових діаграм.

Гени фізиків передаються і шахістам. Мама Василя Іванчука – викладач фізики, а вся сім'я російської молодої зірки Олександра Грищука – фізики. Його дід – перший віце-президент Російської академії наук, також фізик.

Мене часто запитували, чому я, як професійний шахіст, вибрав таку важку спеціальність, а не, наприклад, іноземні мови, як Гаррі Каспаров та Олег Романишин. Я завжди любив цікаві речі, а особливо фізику. До того ж, інтелектуальний рівень на фізичному факультеті набагато вищий, від інших, і той логічний апарат, який я отримав в Університеті, дуже допоміг мені в шахах, а особливо в тренерській та літературній праці. Я завжди з приємністю згадую своїх товаришів з курсу та професорів, а особливо нинішнього ректора Університету професора Івана Вакарчука, у якого я та моя група були першими студентами.

Анісімов І.О. Коливання та хвилі: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: Академпрес, 2003. – 280 с.: іл.

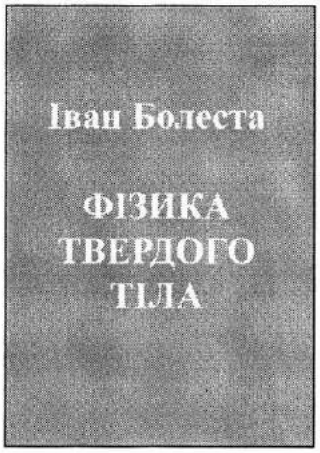
У навчальному посібнику з єдиної точки зору розглянуто коливання та хвилі в різних сферах фізики, а також хемії, біології та екології. Проаналізовано процеси в лінійних, параметричних, нелінійних та автоколивних системах. Послідовно досліджено системи з однією і багатьма ступенями вільності та системи з розподіленими параметрами. Особлива увага зосереджена на проблемі динамічного хаосу.

Для студентів фізичних спеціальностей, але може бути корисним також біологам, екологам, хемікам та іншим фахівцям, що мають справу з коливними та хвильовими процесами.

Болеста І.М. Фізика твердого тіла. Навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 480 с.

У посібнику викладено основні ідеї та поняття фізики твердого тіла. Розглянуто методи опису структури та симетрії кристалів, міжчастинкові взаємодії та їхній вплив на принципи формування структури; дефекти кристалічної ґратки, основи зонної структури твердих тіл, динаміки ґратки та фазові переходи. Значна увага приділена описові фізичних властивостей твердих тіл.

Для студентів фізичних спеціальностей вищих навчальних закладів.



ВИДАВНИЦТВО „ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

БІБЛІОТЕКА „СВІТ ФІЗИКИ”:

1. Краус Іво. Вільгельм Конрад Рентген. Нащадок щасливої випадковості/ Пер. з чеської В. Іванової-Станкевич. – Львів: Євросвіт, 2002. – 84 с.: іл.
2. Біланюк Олекса. Тахіони. – Львів: Євросвіт, 2002. – 160 с.: іл.
3. Алексєйчук В., Гальчинський О., Шопа Г. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв’язки. – Львів: Євросвіт, 2000. – 168 с.
4. Всеукраїнські олімпіади з фізики. Задачі та розв’язки. За ред. Б. Кремінського. – Львів: Євросвіт, 2003. – 232 с.

БІБЛІОТЕКА МОЛОДОГО НАУКОВЦЯ:

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

БІБЛІОТЕКА ФОНДУ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ:

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

Приймаємо замовлення за адресою:

„Євросвіт”, а/с 6700, м. Львів, 79005

МИСТЕЦЬКА СТОРІНКА ЖУРНАЛУ "СВІТ ФІЗИКИ"

І.С. Їжакевич (1864–1962).
Мама йде!.. 1907. Полотно, олія.

І.С. Їжакевич – один з найпопулярніших українських художників. У своїх картинах він зворушливо тепло зображає добре йому знайоме життя українського селянства. Творчість І.С. Їжакевича є вагомим внеском у розвиток мистецтва.