

С В І Т

ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

№1
2004

*у XX сторіччі
фізика стала по-справжньому
елементом загальної культури людства*

Жорес Алфьоров

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.

Відзнаку „За популяризацію фізики в Україні” 2003 року отримали:

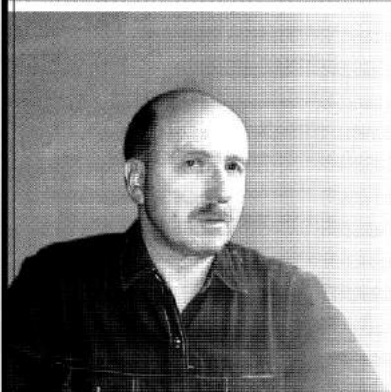
Семен ГОНЧАРЕНКО за популяризацію олімпіадного руху в Україні, активну участь в олімпіадах з фізики впродовж сорока років.

Ілля ГЕЛЬФГАТ за низку збірників задач з фізики для загальноосвітньої школи та участь у проведенні творчих змагань школярів з фізики.

Семен ГОНЧАРЕНКО народився 9 червня 1928 року в селянській сім’ї у селі Шпаково Кіровоградської області. Навчався у сільській школі, після війни закінчив фізико-математичний факультет Кіровоградського педагогічного інституту. Згодом учителював на селі. З 1954 року – аспірант, а далі – працював у Науково-дослідному інституті педагогіки, 25 років з яких був заступником директора Інституту з наукової роботи.

Семен Гончаренко – доктор педагогічних наук, дійсний член Академії педагогічних наук України, член редколегії журналу „Світ фізики”. Написав має багато наукових праць, підручників та науково-популярних книжок з фізики. Його доробок розвиває творчі здібності школярів, спонукає до вивчення фізики. Майже сорок років відомий педагог бере участь в організації та проведенні Всеукраїнських олімпіад з фізики для школярів. Науковець долучався до створення важливих державних документів про освіту в Україні. Брав участь у створенні Академії педагогічних наук України.

Нині Семен Гончаренко плідно працює в Інституті педагогіки та психології АПН України. Його люблять та шанують.



Ілля ГЕЛЬФГАТ народився 1951 року у Харкові, 1973 року закінчив фізичний факультет Харківського державного університету. Після служби в армії з 1975 року працює вчителем фізики. У 1984 році захистив кандидатську дисертацію, присвячену теорії поверхневих хвиль у кристалах. З 1988 року й досі працює учителем фізики Фізико-математичного ліцею № 27 м. Харкова. Багато його учнів стали призерами Міжнародних, Всеукраїнських олімпіад та Турнірів юних фізиків.

Він понад десять років бере активну участь у складанні завдань з фізики, роботі журі турнірів юних фізиків та олімпіад різного рівня. Заслужений учитель України, кандидат фізико-математичних наук.

С В І Т ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

1(25) '2004

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 „Свросвіт”

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 „Свросвіт”, наклад 1000 прим.

Адреса редакції:

редакція журналу „Світ фізики”

вул. Саксаганського, 1,

м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 96 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

sf@ktf.franko.lviv.ua; phworld@franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

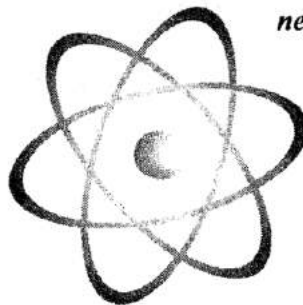
„...Все, чим володіє сьогодні людство — це продукт науково-технічного прогресу, сучасної науки. Сучасна наука доволі молода: вона виникла на плечах таких гігантів, як І. Ньютон, Г. Галілей, Г. Лейбніц, Р. Декарт, тобто 300–350 років тому...

Успіх науково-технічного прогресу у ХХ сторіччі пов'язаний з розвитком електроніки загалом і напівпровідникової електроніки, мікроелектроніки, оптоелектроніки, надшвидкої електроніки, зокрема... Якщо дивитись на поступ цієї галузі, то можна сказати, що електроніка визначила прогрес в усіх сферах науки, стала рушієм цивілізації у другій половині сторіччя.

Адже саме в результаті цих наукових здобутків виникло те, що ми називаємо сьогодні постіндустріальним, інформаційним суспільством. Саме завдяки розвитку цієї галузі науки і техніки ми маємо змогу справлятися з інформаційним „вибухом”...

Жорес Алфьоров,
лауреат Нобелівської
премії з фізики

*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 „Свросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові й маловідомі явища фізики

Анісімов Ігор. Хаотична поведінка простих систем

Проскура Олександр. Про винахід радіо

3

11

2. Фізика світу

Ранюк Юрій. Георгій Гамов і розщеплення атомного ядра

21

3. Фізика України

Тацуняк Петро. Професор Храпливий (до 100-річчя від дня народження)

26

4. Олімпіади, турніри...

Умови завдань III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 року

30

5. Університети світу

Крочук Ананій, Якібчук Петро. Фізичному факультету – 50 років

33

6. Творчість юних

Фрей Олександр. Фонтанчик

38

7. Олімпіади, турніри...

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 року

42

8. Інформація

48





ХАОТИЧНА ПОВЕДІНКА ПРОСТИХ СИСТЕМ

Ігор Анісімов

доктор фізико-математичних наук, професор
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

На початку XIX сторіччя відомий французький учений Лаплас стверджував: якщо записати рівняння руху для всіх частинок, з яких складається Всесвіт, доповнити їх початковими умовами і проінтегрувати¹, то можна передбачити майбутнє як завгодно далеко вперед. Ця думка увійшла в історію науки як *лапласівський детермінізм*.

Майже за сторіччя, коли сформувалася квантова механіка, стало зрозуміло, що Лаплас помилявся. Адже події у мікросвіті мають принципово ймовірнісний характер, тобто поведінку, наприклад, одного конкретного електрона в принципі передбачити не можна (можна лише вказати ймовірність того чи іншого варіанта його поведінки).

А ще пізніше, наприкінці XX сторіччя, виявилося, що концепцію Лапласа неможливо реалізувати навіть у межах класичної (ньютонівської) механіки. Виявилось, що деякі макроскопічні системи, які мають порівняно невелику кількість ступенів вільності, теж можуть демонструвати непередбачувану поведінку. Усвідомлення цього факту одержало назву другої революції в механіці².

¹Рух частинки в класичній механіці описується диференціальним рівнянням (тобто рівнянням, що містить функції і похідні від них) або системою таких рівнянь. Для того, щоб одержати однозначний розв'язок диференціального рівняння (або, як кажуть, проінтегрувати диференціальне рівняння), його треба доповнити початковими умовами, тобто значеннями координати і швидкості частинки в початковий момент часу.

²Першою революцією вважають створення квантової механіки.

Про те, як порівняно прості системи, описувані рівняннями класичної фізики, можуть демонструвати непередбачувану (хаотичну) поведінку, і йти-ме мова далі.

Більярд Синая

Історично одним із перших прикладів систем, близьких до реальних, які можуть демонструвати хаотичну (непередбачувану) поведінку, є так звані більярди Синая. Вважають, що більярдна кулька рухається без тертя, пружно відбиваючись від стінок (кут падіння дорівнює куту відбивання). Схема такого більярда зображена рис. 1.

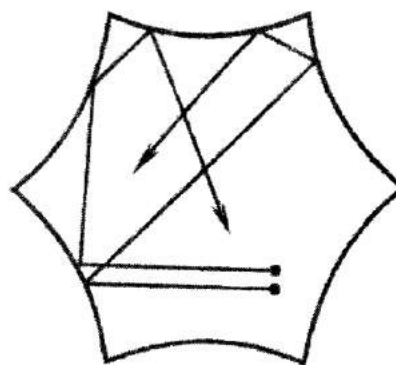


Рис. 1. Схема більярда Синая

Видно, що дві кульки, які в початковий момент часу перебували поряд і рухалися з однаковими швидкостями, внаслідок відбивання від опуклих поверхонь з часом розходяться. Тобто поведінка кульки в більярді Синая з часом стає непередбачуваною.



Справді, для того, щоб передбачити рух кульки, ми мусимо знати початкові умови. Їх знаходять вимірюванням, вони відомі з деякою похибкою, а отже, вони неточні. Але, як видно з рис. 1, навіть мала зміна початкових умов може привести до істотної зміни руху кульки. Тому насправді рух кульки може значно відрізнятись від розрахованого. Це й означає, що поведінка кульки в більярді Синая непередбачувана.

Описати рух кульки в більярді Синая досить складно. До того ж, такий більярд є ідеалізованою моделлю і демонструє не всі характерні ознаки систем із непередбачуваною поведінкою. Щоб зрозуміти, як може виникнути непередбачуваність в інших, реальніших системах, ознайомимося спершу з деякими поняттями, які широко застосовують у теорії коливань, зокрема, з фазовою площиною.

Фазова площина

Поведінку системи з одним ступенем вільності³ (наприклад, маятника, що вільно коливається) зручно описувати за допомогою *фазової площини*. На цій площині по осі абсцис відкладається координата (наприклад, кут відхилення маятника⁴), а по осі ординат – швидкість, тобто похідна від координати за часом. Точка, положення якої на фазовій площині в кожний момент часу відповідає станові (тобто координаті та швидкості) системи, називається *зображувальною точкою*. Лінія, яку з часом описує зображувальна точка на фазовій площині, називається *фазовою траєкторією*. Набір усіх можливих фазових траєкторій утворює *фазовий портрет* системи.

Маятнику, який здійснює гармонійні коливання, відповідає фазовий портрет у вигляді набору вкладених еліпсів (рис. 2). Видно, що максимальна швидкість маятника досягається тоді, коли його відхилення дорівнює нулеві. Навпаки, при максимальному відхиленні швидкість обертається в нуль.

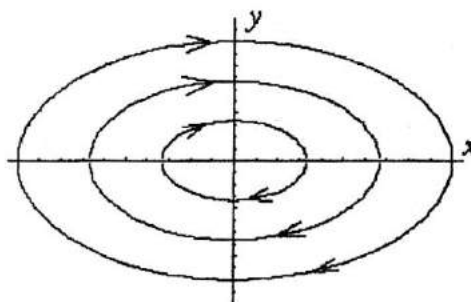


Рис. 2. Фазовий портрет маятника (візка в ямі): x – координата, y – швидкість

Перевернутому маятникові⁵ (або візкові, що наїжджає на гірку) відповідає фазовий портрет у вигляді сім'ї гіпербол (рис. 3). Наприклад, фазові траєкторії типу I описують випадок, коли візок наїжджає на гірку з лівого боку, зупиняється і скочується назад. Фазові траєкторії типу II відповідають ситуації, коли візок наїжджає на гірку з лівого боку, але тепер його початкової кінетичної енергії вистачає на те, щоб доїхати до вершини, після чого він скочується з правого схилу гірки тощо.

Лінії, що розділяють на фазовій площині області з якісно відмінним характером руху, називають *сепаратрисами*. На рис. 3 сепаратриси – це асимптоти сім'ї гіпербол.

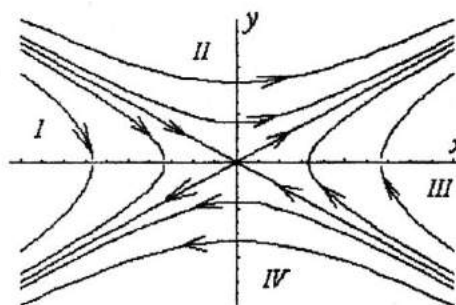


Рис. 3. Фазовий портрет перевернутого маятника (візка на гірці)

³Це системи, рух яких повністю характеризується двома скалярними величинами – координатою та швидкістю (або координатою й імпульсом).

⁴Замість маятника можна розглянути візок, що їздить без тертя на дні ями з параболічним профілем.

⁵Йдеться про маятник у вигляді маси, підвішеної на твердому стрижні. Розглядають малі кути відхилення від положення нестійкої рівноваги, в якому стрижень піднятий вертикально догори.



Стійкість, нестійкість та непередбачуваність руху

За допомогою фазової площини зручно характеризувати стійкість чи нестійкість руху системи або її положення рівноваги.

Говорять, що рух системи *стійкий* (або, точніше, *стійкий за Ляпуновим*), якщо мала зміна початкових умов (початкових положення та швидкості системи) приводить до малої зміни її руху в будь-який момент часу (рис. 4). Рух маятника (для малих кутів відхилення, коли ще не виявляються нелінійні ефекти, зокрема, період коливань не залежить від їхньої амплітуди) є стійким за Ляпуновим.

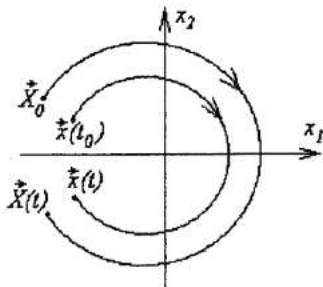


Рис. 4. Фазові траєкторії системи, стійкої за Ляпуновим

Навпаки, для перевернутого маятника точки по різні боки сепаратриси, якими б близькими вони не були в початковий момент, з часом розійдуться як завгодно далеко (рис. 5). Отже, мала зміна початкових умов такої системи в околі сепаратриси може спричинити радикальні зміни руху системи (наприклад, візок, що мав переїхати через гірку, зупиниться і скотиться назад).

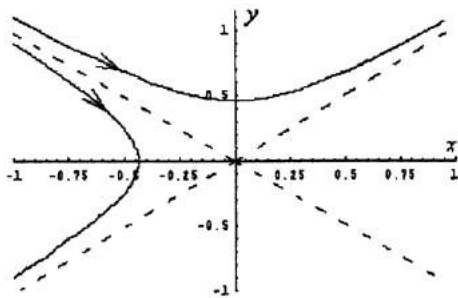


Рис. 5. Розбігання зображувальних точок на фазовому портреті перевернутого маятника

Інший приклад системи, нестійкої за Ляпуновим – це маятник з від’ємним тертям (така модель описує, наприклад, генератор електричних коливань на лампі або транзисторі в початкові моменти часу після увімкнення напруги живлення). Його фазовий портрет (рис. 6) – це набір спіралей, які з часом розкручуються, причому віддаль між сусідніми витками поступово зростає. Іншими словами, у такій системі відбуваються коливання, амплітуда яких зростає з часом (як показує розрахунок, за експоненціальним законом). Зрозуміло, що в такій системі віддаль між двома зображувальними точками, розташованими, наприклад, на сусідніх витках спіралі, з часом зростатиме (рис. 6).

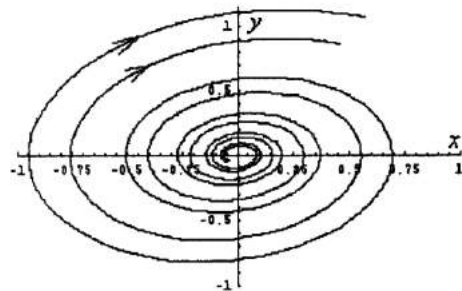


Рис. 6. Розбігання зображувальних точок на фазовому портреті маятника з від’ємним тертям

Отже, перевернутий маятник та маятник з від’ємним тертям належать до класу *нестійких систем*. У них мала зміна початкових умов з часом може привести до істотної зміни руху. У реальних ситуаціях, початкові умови визначаються з експерименту і, отже, відомі неточно. Тоді *нестійкість означає, що поведінку такої системи неможливо передбачити* (як ми це бачили на прикладі більярду Синая). Точніше, ми можемо прорахувати її рух наперед, але неточність початкових умов призведе до того, що для пізніх моментів часу цінність нашого розрахунку різко зменшиться, оскільки можлива похибка буде порядку самої розрахованої величини.

Отже, нестійкість руху системи може спричинити його *непередбачуваність*.



Хаотичність руху простих систем

Коли говорять про хаотичну зміну з часом якої-небудь величини, то мають на увазі, що ця величина змінюється випадково, непередбачувано, залишаючись, однак, у деяких скінчених межах. Так змінюється з часом, наприклад, тиск газу на невелику поверхню, зумовлений випадковими ударами молекул, які здійснюють тепловий рух, або напруга на кінцях провідника, спричинена тепловим рухом електронів.

Загалом задачу про рух молекул газу в деякому об'ємі можна розв'язати точно. Але для цього треба записати й проінтегрувати систему рівнянь руху для всіх молекул, доповнену відповідними початковими умовами. Оскільки така задача не може бути розв'язана навіть за допомогою сучасних комп'ютерів⁶, використовують такий прийом: вводять деякі середні величини, що характеризують систему загалом (тиск, температуру, концентрацію частинок тощо), а відхилення від цих середніх значень розглядають як деякі випадкові флуктуації.

Чи можна вважати рух простих нестійких систем – перевернутого маятника чи маятника з від'ємним тертям – хаотичним? Очевидно, не можна, оскільки в цих системах рух є інфінітним (необмеженим) – простіше кажучи, відхилення від положення рівноваги з часом необмежено зростає.

Але якби вдалося поєднати нестійкість (а, отже, й непередбачуваність) руху системи з його обмеженістю, у нас були б усі підстави вважати такий рух *хаотичним*. Справді, обмеженість руху дає змогу характеризувати його деякими *середніми величинами* (які виступають аналогом тиску чи температури), а непередбачуване відхилення від цих середніх величин розглядати як випадкові флуктуації.

⁶ Утім початкові кроки на цьому шляху вже зроблено – маю на увазі комп'ютерні розрахунки за методом великих частинок, коли реальні молекули, атоми, йони чи електрони замінюються меншою кількістю більших (за масою, зарядом та ін.) частинок, для яких і розв'язуються числовими методами точні рівняння руху. Виграш при такому підході полягає у зменшенні кількості рівнянь.

Легко зрозуміти, що саме таку поведінку демонструє кулька в більярді Синая. Середні значення її координат відповідають, наприклад, центру більярду, а відхилення від цього положення можна розглядати як флуктуації. Нестійкість руху кульки в більярді Синая зумовлена відбиттям від опуклої поверхні.

Для систем з одним ступенем вільності (таких, як маятник), поведінку яких можна описати за допомогою фазової площини, поєднання нестійкості й обмеженості руху неможливе. Але така заборона знімається для систем з більшою кількістю ступенів вільності. Отже, уже для систем, яким відповідає тривимірний фазовий простір (говорять, що такі системи мають півтора ступеня вільності), можлива хаотична поведінка у зазначеному вище розумінні.

Говорять, що такі системи демонструють *динамічний хаос*.

Слід зазначити, що динамічний хаос виникає через відсутність будь-яких випадкових зовнішніх сил, що діють на систему.

Наведені вище міркування вперше висловив відомий фізик-теоретик Макс Борн десь 1950 року.

Отже, погляди Лапласа, про які згадувалось на початку, у певному сенсі правильні (для макроскопічних систем), але на практиці поведінку таких систем можна передбачити не завжди через їхню нестійкість і неточне знання початкових умов.

Математичний маятник, на який діє мала періодична сила

Прикладом системи з півтора ступенями вільності є маятник, на який діє зовнішня періодична (невипадкова) сила. Як ми уже зазначали, фазовий простір такої системи буде тривимірним – по осях відкладають координату, швидкість і час.

Хаотична динаміка простих систем вимагає, зокрема, щоб вони були *нелінійними*. Для маятника нелінійність означає, що сила, яка повертає систему в положення рівноваги, нелінійно залежить від відхилення. Поширеним прикладом такого маятника може бути так званий математичний маятник, для якого згадана сила пропорційна синусові кута відхилення, $f(x) \sim \sin x$. Наочною моделлю математичного маятника може бути кулька, яка без тертя рухається по хвилястому

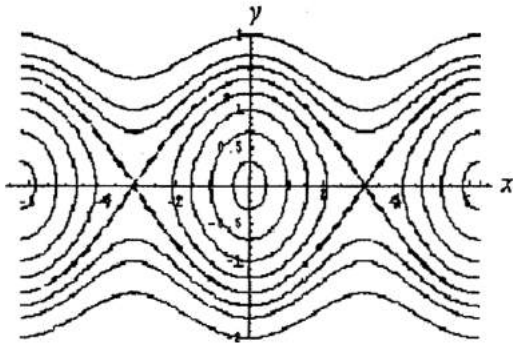


Рис. 7. Фазовий портрет вільних коливань математичного маятника (без тертя)

листі шиферу, покладеному горизонтально. Фазовий портрет такого маятника зображений на рис. 7. Фазові траєкторії можна розділити на дві групи. Одні з них, так звані траєкторії фінітного руху, що лежать всередині петель сепаратриси, є замкненими лініями. Їм відповідають коливання візка навколо „западин” листа шиферу. Інші фазові траєкторії – траєкторії інфінітного руху – починаються і закінчуються на нескінченності. Їм відповідає рух візка з великою початковою швидкістю, якої вистачає для того, щоб переїжджати через „горби” шиферного листа. В околі дна „западин” (положень стійкої рівноваги) фазові траєкторії виглядають так само, як на рис. 2, а в околі вершин „горбів” (положень нестійкої рівноваги) – так само, як на рис. 3.

Нехай тепер на математичний маятник діє мала зовнішня періодична сила. Наприклад, у нашій моделі можна уявити собі фантастичну ситуацію,

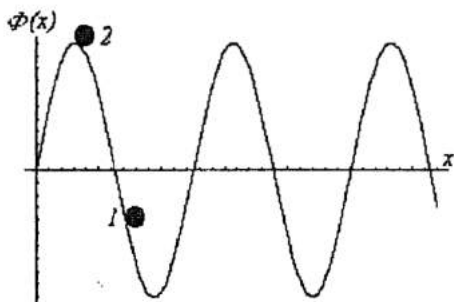
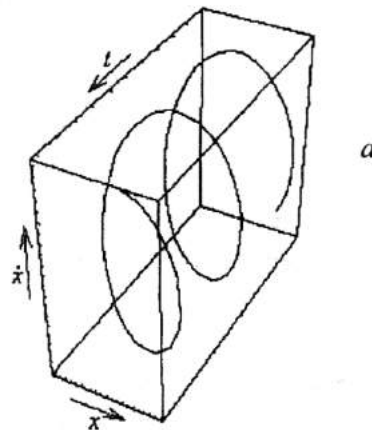


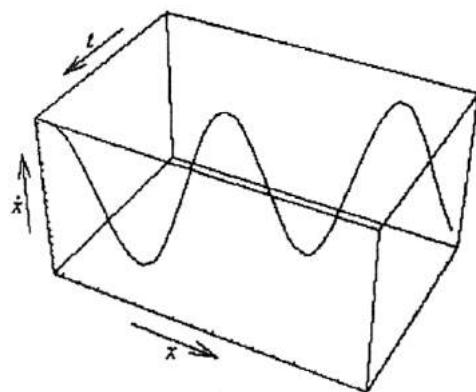
Рис. 8. Рух кульки на періодичному рельєфі під дією малої зовнішньої сили

коли кулька заряджена, а вся система вміщена в електричне поле, спрямоване горизонтально, що періодично змінюється в часі з певною частотою. До речі, такий самий результат можна одержати, якщо смикати лист шиферу в горизонтальній площині.

Якщо через відсутність зовнішньої сили маятник рухався по одній з фазових траєкторій, далеких від сепаратриси (наприклад, кулька зупиняється в точці 1, див. рис. 8), то мала зовнішня сила майже не вплине на його рух. Фазові траєкторії фінітного та інфінітного руху в тривимірному фазовому просторі для цього випадку зображено на рис. 9, а, б.



а



б

Рис. 9. Фазові траєкторії математичного маятника, що рухається поза околom сепаратриси і зазнає дії малої зовнішньої сили: а – фінітний рух, б – інфінітний рух



Якщо зображувальна точка рухається поблизу сепаратриси, то невелика зміна координати або швидкості може перевести її на якісно іншу фазову траєкторію (див. рис. 7). У нашому випадку це означає, що мала зовнішня сила може помітно вплинути на рух системи лише тоді, коли кулька зупиняється поблизу вершини „горба” (точка 2 на рис. 8). За певних умов вона може підштовхнути кульку так, що та перекоотиться в сусідню ямку. Реалізація такого сценарію істотно залежить від початкових умов і дуже чутлива до їхньої зміни⁸. Оскільки в реальності початкові умови ніколи не відомі точно, це й означає непередбачуваність поведінки системи. В цьому конкретному випадку ми не можемо передбачити, в яку саме з двох сусідніх ям перекоотиться кулька і коли це відбудеться. Словом, якщо почекати достатньо довго, ми можемо виявити кульку на як завгодно великій віддалі від її початкового положення.

Схема генератора шуму Кияшка–Піковського–Рабиновича

Система, яку ми розглянули вище, по-перше, неавтономна (на маятник діє деяка зовнішня сила), по-друге, позбавлена дисипації (розсіювання енергії) – ефекту, який присутній у більшості реальних макроскопічних систем. Тому цікаво розглянути прості системи, які демонструють непередбачувану поведінку і є автономними та дисипативними. Прикладом таких систем може бути проста радіотехнічна схема – так званий генератор шуму Кияшка–Піковського–Рабиновича (генератор КПП).

Схема генератора КПП зображена на рис. 10. Послідовно з тріодом до джерела живлення (показано стрілкою) увімкнена первинна обмотка трансформатора з коефіцієнтом взаємної індукції M . Вторинна обмотка увімкнена в коливний контур, який містить також конденсатор C , активний опір R та тунельний діод D ⁹. Напряга з коливного контура (точніше, з конденсатора C) подається на сітку тріода.

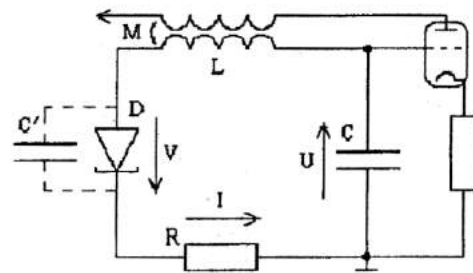


Рис. 10. Схема генератора КПП

За відсутності тунельного діода схема генератора КПП перетворюється на загальновідому схему так званого LC -генератора електричних коливань. У такому генераторі коливання, що виникають у контурі на його власній частоті, подаються на тріод, зазнають підсилення і знову повертаються в контур. Говорять, що в схемі діє позитивний зворотний зв'язок: вихідний сигнал знову подається на вхід, причому з тією самою фазою. У результаті в початкові моменти часу, доки коливання залишаються малими і не дається взнаки нелінійність тріода, амплітуда коливань з часом експоненціально зростає, тобто схема поводить себе, як маятник з від'ємною дисипацією (див. рис. 6).

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) тунельного діода зображена на рис. 11. Вона немонотонна. Ділянка, де струм спадає зі зростанням напруги, нестійка¹⁰.

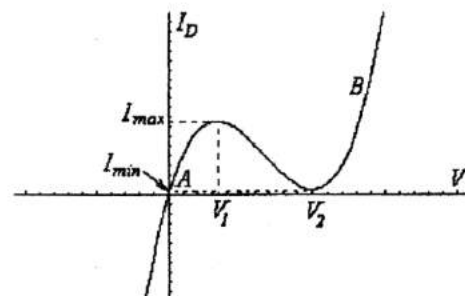


Рис. 11. Вольт-амперна характеристика тунельного діода



Отже, ВАХ тунельного діода (рис. 11) має дві робочі ділянки: низькоомну ділянку A (грубо кажучи, на цій ділянці діод можна замінити малим опором) і високоомну ділянку B , на якій опір діода суттєво зростає (при тому самому струмі падіння напруги на діоді на ділянці B значно більше, ніж на ділянці A).

Слід також узяти до уваги, що тунельний діод має деяку невелику ємність C'' . Тому повний струм через нього складатиметься з струму провідності, що визначається ВАХ, і струму зміщення, який протікає через ємність тунельного діода. Саме ємність тунельного діода робить генератор КПП системою з півтора ступенями вільності (звичайний LC-генератор має один ступінь вільності).

Режим динамічного хаосу генератора КПП

Оскільки генератор КПП має півтора ступеня вільності, для його опису потрібний тривимірний фазовий простір. По осях цього простору зручно відкласти струм I у контурі, напругу V на тунельному діоді та напругу U на конденсаторі коливного контуру.

Аналіз диференціальних рівнянь, які описують роботу схеми, показує, що за умови $C' \ll C$ на фазовому портреті системи можна виділити ділянки швидкого та повільного руху. Фазові траєкторії, що відповідають ділянкам повільного руху, лежать на поверхні, яка перпендикулярна до осі U , причому перетин цієї поверхні площинами $U = \text{const}$ дає ВАХ тунельного діода. Поверхня повільного руху зображена на рис. 12, літерами позначено її ділянки, що відповідають позначеним так само ділянкам ВАХ (рис. 11).

Якщо зображувальна точка опиняється за межами поверхні повільного руху, вона потрапляє на траєкторії швидкого руху¹¹. Останні – це вертикальні прями¹², паралельні осі V і спрямовані в бік поверхні повільного руху. Наприклад, якщо зображувальна точка підходить до краю області B (рис. 12), вона опиняється на траєкторії швидкого руху і майже миттєво перестрибує по ній на відрізок OO' , що належить області A . У результаті опір тунельного діода стрибком зменшується. І навпаки, опинившись на краю області A , зображувальна точка по траєкторії швидкого руху перестрибує догори на відрізок OO' , що належить

області B , внаслідок чого опір тунельного діода стрибком зростає. Ці ефекти зумовлені нестійкістю спадної ділянки ВАХ тунельного діода і його ненульовою ємністю C' .

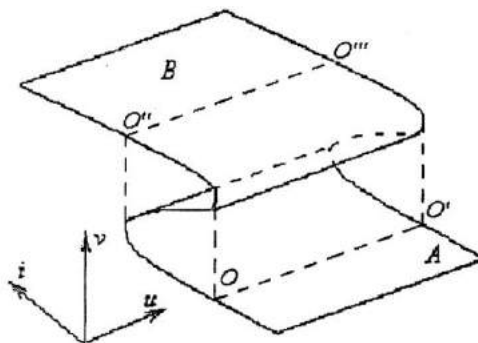


Рис. 12. Поверхня повільного руху

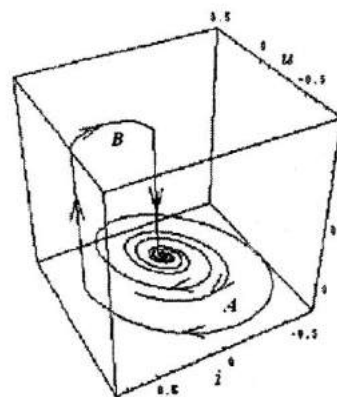


Рис. 13. Фазовий портрет стохастичних коливань

Параметри схеми підбрані так, що при малому опорі тунельного діода (на ділянці A , рис. 11) схема працює як генератор, тобто в ній зростають коливання. Навпаки, при великому опорі тунельного діода (на ділянці B) коливання в контурі різко (аперіодично) згасають.

Фазовий портрет генератора КПП у режимі стохастичних коливань зображено на рис. 13.

Нехай у початковий момент часу коливання відсутні. Тоді струм через тунельний діод не протікає, тобто діод перебуває в низькоомному стані (див. рис. 11). Оскільки точка рівноваги нестійка (див. рис. 6), у контурі зростають коливання. Цьому процесові відповідає спіраль, що розкручується, на поверхні повільного руху A .



Коли струм у контурі набуває значення I_{\max} (рис. 11), зображувальна точка підходить до краю поверхні A і перестрибує в область B . Опір тунельного діода різко збільшується, і зростання коливальних у контурі змінюється їхнім швидким згасанням. Відповідно фазова траєкторія на поверхні B є відрізком спіралі, що швидко скручується. Коли струм у контурі спадає до значення I_{\min} (рис. 11), зображувальна точка підходить до краю поверхні B і знову перестрибує в область A .

Зриваючись униз із краю поверхні B , зображувальна точка мусить потрапити в одну з точок відрізка OO' . Але, оскільки цей відрізок містить нескінченну кількість точок, то ймовірність потрапити на попередню фазову траєкторію (яка перетинає відрізок OO' скінчену кількість разів) дорівнює нулеві. Потрапляння зображувальної точки на попередню фазову траєкторію після складних „мандрівок” поверхнями A та B так само неймовірно, як потрапляння двох снарядів у ту ж саму точку. Отже, фазова траєкторія буде незамкненою. Іншими словами, нові коливання в контурі зростатимуть від деяких інших значень амплітуди і фази порівняно з попередньою послідовністю коливальних. Це приведе до того, що пакети коливальних, генерованих в проміжках між стрибками, будуть відрізнятися одна від одної.

Епюри коливальних генератора КПП у такому режимі зображено на рис. 14. Видно, що це є пакети коливальних скінченної тривалості, амплітуда яких експоненціально зростає. Кількість коливальних у пакетах неоднакова і змінюється випадково. Тому сигнал генератора КПП непередбачуваний і його можна розглядати як деякий шум.

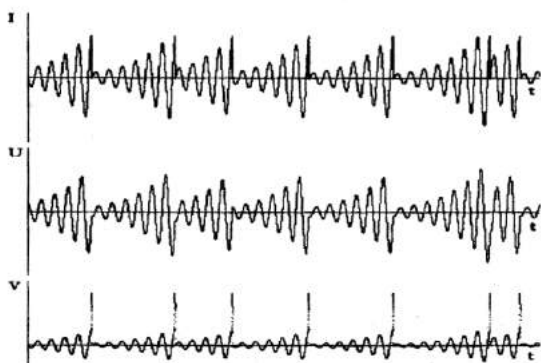


Рис. 14. Епюри стохастичних коливальних

Можна показати, що фазовий портрет генератора КПП, як і будь-якої іншої дисипативної системи, що демонструє стохастичну поведінку, є фрактал – об’єкт з нецілою геометричною розмірністю, причому сусідні зображувальні точки на ньому з часом розбігаються.

Висновки

Мозок дорослої людини влаштований так, що вона звичайно помічає навколо себе тільки те, що може пояснити. Можливо, це зроблено для того, щоб мозок випадково не „перегорів” від надмірного напруження.

Коли в 1950-х роках геніальний російський математик А.М. Колмогоров розробляв математичний апарат для опису непередбачуваної поведінки простих систем, здавалося, що таких систем не існує взагалі або вони трапляються дуже рідко. Утім коли ідеї М. Борна, А.М. Колмогорова та інших набули широкого розголосу і озброєні ними вчені-фізики новими очима подивилися навколо, з’ясувалося, що систем, які за певних умов можуть демонструвати динамічний хаос, надзвичайно багато.

Виявилось, наприклад, що до класу систем із хаотичною динамікою належить класична задача трьох тіл, що притягаються одне до одного, над якою марно билось багато знаменитих математиків XIX століття, та низка інших задач астрономії. Для атмосфери діє „ефект метелика”, який полягає в тому, що рух повітря, зумовлений польотом метелика в джунглях Амазонки, може спричинити радикальну зміну погоди в Сибіру. З динамічним хаосом тісно пов’язане і таке загальновідоме і надзвичайно поширене явище, як турбулентна течія рідини, що супроводжується випадковим утворенням вихорів різних масштабів.

Сьогодні вважають встановленим, що майже будь-яка нелінійна нерівноважна система, що має більше одного ступеня вільності, в певному діапазоні параметрів може рухатися хаотично.

Звичайно, у популярній статті неможливо докладно описати явище динамічного хаосу. До того ж сьогодні цей розділ фізики і математики ще далекий від повноти. Можливо, хтось із читачів журналу „Світ фізики” згодом теж додасть свій вагомий внесок у цю складну, але цікаву науку...



ПРО ВИНАХІД РАДІО

Олександр Проскура

*кандидат фізико-математичних наук
(Берлін, Німеччина)*

Про пріоритет у винаході радіо росіянином Поповим чи італійцем Марконі точиться тривала дискусія [1–3]. В історії винаходу радіо, як і загалом в історії науки та техніки утвердження пріоритету досить часто пов'язане не лише з різними методичними підходами та критеріями до встановлення або проголошення історичного факту, а й з питаннями національного престижу. Наприклад, надрукована в Москві „Малая Советская Энциклопедия” винахідником радіо називає Попова, італійська „Nuova Enciclopedia Sonzgnò” на перше місце ставить Марконі, французька ж „Larousse universel” ставить Марконі на друге місце після Бранлі, англійська ж енциклопедія „Encyclopaedia Britannica” наперед виводить Лоджа, а німецький „Lexikon der Deutschen Buchgemeinschaft” батьком радіо називає Герца [4]. До того ж не заперечним є твердження про те, що саме німецький фізик Герц 1887 року своїми дослідженнями з, як він називав, осцилятором та резонатором, заклав основи бездротового електрозв'язку [5]. Спробуймо коротко розглянути діяльність деяких піонерів бездротового електрозв'язку на електромагнетних хвилях та їхні колізії.

Звичайно історію радіо виводять від досліджень найвидатнішого експериментатора XIX сторіччя Фарадея (Michael Faraday, 1791–1867), який у Лондоні півтора сторіччя тому дослідним шляхом намагався довести спорідненість світла з електрикою та магнетизмом і у 1851–1855 роках запропонував концепцію електромагнетного поля.

Ідеї Фарадея спонукали професора лондонського Королівського коледжу шотландця Максвелла (James Clark Maxwell, 1831–1879) до створення у 1860–1865 роках математичної електромагнетної теорії світла, про яку він уперше доповів на засіданні Королівського Товариства в рік смерті Фарадея. Знамениті рівняння Максвелла показують, що світло є ідентичним до електро-

магнетних хвиль, які є процесом перенесення в діелектричному просторі енергії пов'язаних між собою змінних електричного та магнетного полів. У справедливості принципово нових фізичних положень про поле, яке випромінюється і миттєво поширюється, існуючи незалежно від носія, треба було переконатися тільки дослідним шляхом. Численні та авторитетні опоненти Максвелла критично ставились до основних тверджень теорії – до ідеї про спільність властивостей світлових та електромагнетних хвиль і до припущення про існування струмів зміщення. Переконливе підтвердження прийшло за 20 років після доповіді Максвелла. Передбачені ним сферичні електромагнетні хвилі одержав та експериментально дослідив молодий професор фізики Г. Герц (Heinrich Hertz, 1857–1894) у німецькому місті Карлсруе.

Своїми дослідженнями Герц показав, що електромагнетні хвилі (за тогочасною термінологією – електричні, а згодом – хвилі Герца) мають властивості світлових хвиль. У серії легендарних дослідів з параболічною антеною, виконаних 1888 року, Герц перетворив хвилі зі сферичною хвильовою поверхнею на хвилі з плоским фронтом і, експериментуючи уже з електромагнетним променем, встановив, що він підлягає законам геометричної оптики, тобто здатен заломлюватись і відбиватись. Герц переконався також у здатності електромагнетних хвиль до інтерференції, що дало змогу вимірювати їхню довжину.

Досліди Герца були виконані під впливом „райхканцлера фізики”, як називали в Німеччині професора Гельмгольца (Hermann von Helmholtz, 1821–1894). Гельмгольц сприяв тому, щоб теорію Максвелла визнали науковці. Доречно зауважити, що саме в лабораторії Гельмгольца і на його пропозицію у 1873–1874 роках учень „батька російської фізики” О.Г. Столетова (А.Г. Столетов, 1839–1896) майбутній професор Київського уні-



верситету М.М. Шіллер розпочав з діелектриками досліди, які дали перше пряме експериментальне підтвердження теорії Максвелла [6]. З ініціативи Гельмгольца Берлінська Академія Наук 1879 року оголосила конкурс з премією за експериментальне підтвердження принципово нової теорії. Гельмгольц звернув у Берліні увагу свого талановитого учня Герца на це завдання, однак з розрахунків Герца випливало, що він не мав змоги виготовити апаратуру з достатньо високою для успішних дослідів частотою коливань джерела електромагнетних хвиль. Лише за сім років у Карлсруе йому випала така щаслива нагода і він розпочав свої досліди на частоті 40 МГц.



Генріх Герц (Heinrich Hertz)
(22.11.1857–01.01.1894)

Джерелом електромагнетного випромінювання в дослідях Герца був іскровий електричний розряд від високовольтної вторинної обмотки індукційної шпулі типу розробленої в Парижі шпулі німецького техника Г. Румкорфа (Heinrich Ruhmkorff, 1803–1877) з вібратором. Ця шпуля аналогічна з так званими котушками запалювання в автомобільних двигунах. В електричному колі низьковольтної первинної обмотки котушки був повітряний розрядник, крізь який здійснювався електричний розряд від конденсаторного пристрою типу лейденської банки. Було відомо після

дослідів Б. Феддерсена (Berend Wilhelm Feddersen), виконаних 1858 року в німецькому місті Кіль, що при іскровому розряді електрично зарядженої лейденської банки відбуваються періодичні коливання електричного струму. Герц використав те, що розряд конденсатора первинної обмотки ініціював у колі вторинної обмотки між металевими кульками розрядника виникнення іскри, яка, як з'ясувалось, ставала джерелом електромагнетних хвиль. Приймачем цих хвиль був звив провідника з повітряним прозиром, поява іскри, в якому засвідчувала функціонування всієї апаратури як випромінювач та приймач. Завдяки удосконаленню апаратури частота хвиль була збільшена на порядок величини від 40 МГц на початку дослідів до 450 МГц.

Досліди Герца були сприйняті як справжнє диво і викликали великий захват у всьому науковому фізичному світі, так висловився про них Планк (Max Planck, 1858–1947) у некролозі, який він написав на прохання Гельмгольца після смерті Герца. Звичайно, у науковців та інженерів виникло природне зацікавлення до значення дослідів Герца для техніки. Однак Герц був передусім дослідником і можливо саме тому не цікавився прикладними питаннями і напочатку не сподівався, що його відкриття використовуватимуть на практиці. На відповідне запитання інженера Г. Губера (Heinrich Huber) 1889 року він відповів заперечливо. Низька чутливість і недосконалість приймача, в якому іскру доводилось спостерігати крізь мікроскоп, давала змогу здійснювати дослід лише в лабораторному приміщенні та обмежували технічне використання апаратури Герца. Тому перед дослідниками насамперед постала проблема збільшення чутливості приймача.

Для практичного впровадження електромагнетних хвиль для радіозв'язку треба було знайти чутливий до них елемент радіоприймача. Спочатку ним виявився так званий когерер. Історія його розвитку така. Шведський фізик Розеншольд (Peter Samuel Munk of Rosenschold) 1838 року помітив, що вільно сполучені між собою дрібні залізни ошурки після опромінення від іскри, яка виникала при штучно викликаному електричному розряді, переходили до стану підвищеної електропровідності, а після механічного струсу поверталися до попереднього стану низької електропро-



відності. Таке різке перемикання електропровідності залізного порошка можна було багаторазово повторювати. Значно пізніше (1884) про вплив природних електричних розрядів в атмосфері, тобто блискавки, на поведінку залізних ошукрок повідомив італійський учитель Кальцеккі-Онесті (Temistocle Calzecchi-Onesti, 1853–1922). Саме він і сконструював макетний зразок майбутнього когерера, як його назвав 1894 року Лодж (Sir Oliver Joseph Lodge, 1851–1940). Французький фізик Бранлі (Eduard Branly, 1846–1940), фахівець з електрофізики і скрупульозний експериментатор, зумів 1890 року переводити залізні порошки в стан високої електропровідності дією на них іскри крізь видиму непрозору перепону, а саме крізь стіну із сусідньої кімнати. Пристрій з такими порошками Бранлі називав „електропровідником”, однак дещо згодом його називали „фріттером” й остаточно за ним закріпилась назва „когерер”, бо в ньому порошок, немов би спікаючись, зчеплювались між собою.

Когерер був скляною трубкою з порошком металу всередині між двома електродами. І. Марконі (Guglielmo Marconi, 1874–1937) після декількох сотень спроб розробив свій оптимальний варіант когерера. Його когерер був завдовжки 50 мм, прозир між трохи скошеними поверхнями срібних електродів, які дотикались порошка, становив 0,635 мм. Електроди були оброблені ртуттю, а порошок був сумішшю на 95% порошків нікелю і на 5% срібла.

Пошуки чутливого приймача проводили не лише у напрямі використання когерера. Наприклад, у Великобританії професор музики Д. Г'юз (D.E. Hughes, 1831–1900) за кілька тижнів після смерті Максвелла помітив, що іскра викликає електричний струм у телефонному приймачі. Він продемонстрував це явище президентові Королівського Товариства Споттісвуду (William Spottiswood) та відомому фізику Г. Стоксу (Sir Georg Gabriel Stokes, 1819–1903), передаючи та приймаючи сигнали від іскри на відстанях від 55 до 460 метрів. На це Стокс зауважив, що ці результати можна пояснити електромагнетними явищами, і він не приймає припущення про існування електричних хвиль. Г'юз був настільки пригнічений цією критикою, що відмовився описати в пресі свої результати доти, поки не знайде неза-

перечного підтвердження. Проте він фактично припинив свої дослідження, а замітка про його збентеження з'явилась 1899 року в листі до Фегі (J. J. Fahie). При глибшій обізнаності Г'юза з фізикою і за твердішого характеру та наполегливості його прізвищем могла б відкриватись історія сучасного радіо. Інший англійський фізик В. Крукс (William Crooks, 1832–1919), знаючи результати праць численних дослідників, які вивчали властивості хвиль Герца, 1892 року надрукував у науковому журналі прогноз: електромагнетні хвилі



*Гульєльмо Марконі (Guglielmo Marconi)
(25.04.1874–20.07.1937)*

дають дивну можливість створити бездротовий телеграф, бо для цих хвиль такі середовища, як мури чи лондонський туман, є прозорими.

Великий вплив на сучасників справили дослідження та опубліковані 1894 року лекції ліверпульського професора фізики Лоджа, який для початку відтворив досліди Герца, продемонструвавши їх публічно, і пішов далі шляхом досліджень, ввівши до приймача для підвищення його чутливості когерер і вмонтувавши його в колі послідовно з електричною батареєю та електричним дзвоником, який сигналізував про прийом. Лодж 1890 року використав також резонансний контур, чим забезпечували налаштованість приймача на



потрібну частоту і цим істотно вдосконалив відносно просту апаратуру Герца. Хоча Лодж своєчасно не захопився проблемами зв'язку, проте під його впливом британський морський офіцер Г. Джексон (Sir Henry Bradwardine Jackson, 1855–1929), який зробив блискучу кар'єру і 1906 року був зведений у лицарі, впродовж 1895–1896 років виконував таємні дослідження з налагодження радіо-телеграфного зв'язку між військовими кораблями. Згодом стало відомо, що випромінювач і приймач Джексона були схожими на апаратуру Марконі. Зміст лекцій Лоджа був відомий також італійському професорові А. Рігі (Augusto Righi, 1850–1920), який теж експериментував з хвилями Герца і зацікавив ними свого студента Марконі та Попова. Не дивно, що в апаратурному плані прилади цих піонерів радіозв'язку були дещо подібними



*Олександр Степанович Попов
(16.03.1859–13.01.1906)*

між собою, бо свої дослідження вони мусили, як то заведено у експериментаторів, починати з відтворення дослідів Герца та далі йти єдиним шляхом розвитку науки.

Рігі був одним із перших, хто розпочав дослідження електромагнетних хвиль відразу після публікацій Герца. Він зумів одержати короткі хвилі завдовжки 2,6 см і для прийому їх прошкрывав діамантом станіолеве покриття дзеркала і у зробленій так щілині спостерігав за допомогою лупи появу іскор при прийомі. У Болоньї лекції Рігі

відвідував юний Марконі й від нього одержав поштовх для дослідів з радіозв'язку. Марконі поставив собі за мету передавати електромагнетними хвилями інформацію на далекі відстані й досяг величезного успіху, сполучивши радіостанціями, які виготовила його фірма, земні континенти.

Науковці різних країн майже одночасно наблизились до встановлення бездротового електрозв'язку через повітря. Видатних успіхів у виникненні і впровадженні радіозв'язку в Росії досяг Олександр Степанович Попов (1859–1906). У військово-морському офіцерському училищі в Кронштадті поблизу Санкт-Петербурга, де він працював, Попов мав змогу користуватись великою бібліотекою, в якій ознайомився з публікаціями Герца та Лоджа. Вони стимулювали його до продуктивної та оригінальної праці з прийому електромагнетних хвиль.

О. Попов 1895 року насамперед відтворив дослідів Герца. Далі він розробив приймач з когерером та антеною, яка давала перевагу його приймачеві проти апаратури Лоджа. Цей перший приймач Попова реагував на значній відстані на природній розряд блискавки в атмосфері, тому його назвали „буревідмітчик”. Його було встановлено на метеорологічній станції Лісового інституту. Про зміст і наслідки своєї праці Попов доповів 07.05.1895 (25 квітня за старим стилем) на Фізичній сесії Російського Фізико-Хемічного Товариства (РФХТ) у Санкт-Петербурзі. На цьому засіданні Попов здійснив сеанс радіозв'язку з передачею коротких і тривалих сигналів. Його приймач з антеною у вигляді вертикально розташованої дротини завдовжки 2,5 м приймав сигнали на відстані 64 м від генератора Герца і реагував на них дзвінком електричного дзвоника. Під час надходження сигналу до приймача активно спрацьовував електричний дзвоник, сполучений з електричним реле в колі когерера: било дзвоника ударяло по його чашці й так повідомлялось про надходження сигналу, а під час зворотного ходу било струшувало когерер і в такий спосіб забезпечувалась готовність схеми до прийому наступного сигналу. Передатчик було виготовлено на базі вібратора Герца з індукційною котушкою та іскровим розрядником в посудині з маслом і з антеною у вигляді двох бляшаних квадратних листів зі сто-



роною 40 см. Працездатність апаратури і відтворюваність результатів Попов неодноразово перевірив і підтвердив навесні 1895 року в садку Мінного класу за місцем його праці у Кронштадті.

50-річний ювілей доповіді Попова як історичної події великої ваги урочисто відзначали 7 травня 1945 року у Москві у Великому театрі на зборах з участю доньки Попова та партійно-державної, військової та наукової еліти СРСР. На цих високого рівня зборах напередодні перемоги Радянського Союзу над нацистською Німеччиною у Другій світовій війні професора Попова проголосили винахідником радіо та запропонували святкувати в СРСР 7-го травня „День радіо”.

До 100-річного ювілею доповіді Попова 5 (7) травня 1995 року у Москві під егідою ЮНЕСКО було проведено міжнародну конференцію. На ній з доповіддю виступив президент Російського Науково-Технічного Товариства Радіо та Електрозв'язку ім. О. С. Попова (РНТО РЭС ім. А.С. Попова) академік Ю. В. Гуляев. Він розповів про історію винаходу радіо. Відмітивши роль попередників О.С. Попова (М. Фарадей, Дж. Максвелл, Г. Герц, Е. Бранлі, О. Лодж), а також його послідовників, найзнаменитішим з-поміж яких був Г. Марконі, доповідач наголосив на ключовій ролі самого О.С. Попова.

Зміст свого винаходу Попов докладно виклав у праці для січневого номера „Журнала Русского Физико-Химического Общества” (ЖРФХО, 1896), який мав іноземних адресатів, а також у журналах „Электричество” 1896, № 13–14 і „Метеорологический вестник” 1896, № 3. У першій праці Попов зауважив, що її зміст був предметом його квітневої доповіді.

Попов поставив завдання збільшити відстань ефективної радіопередачі до прийнятних з практичного погляду величин. За рік він підвищив потужність передавача і на його виході встановив, як це він практикував і раніше, вертикальну антену. Попов здійснив також сотні дослідів для поліпшення когерера і встановив апарат Морзе для фіксації прийнятих сигналів на паперовій стрічці за абеткою Морзе, за якою певні комбінації коротких і тривалих імпульсів відповідали літерам. Удосконалену у такий спосіб систему для телеграфа без дротів Попов продемонстрував на

засіданні Фізичної сесії РФХТ 12.(24.)03.1896 р. Цього разу він здійснив передачу та прийом на відстані 250 м першої в світі радіограми. Докладніше цю видатну подію описано 1925 року в спогадах учасників засідання, наприклад, професорів О.Д. Хвольсона (1852–1934) і В.К. Лебединського (1868–1937). У спогадах подано, що радіограму зчитав уголос з телеграфної стрічки голова засідання професор Ф.Ф. Петрушевський і написав крейдою на дошці слова „Heinrich Hertz” латиною або, можливо, кирилицею, що є питанням дискусійним, бо сама оригінальна телеграфна стрічка пропала в Ризі разом з бібліотекою В.К. Лебединського десь поміж 1918–1919 роками.

На жаль, про зміст публічних виступів Попова не залишилось задокументованих подробиць. Деякі дослідники намагались пояснити це тим, що Попов працював у мілітарному відомстві й на його виступи було накладено певні режимні обмеження. Однак Попов публікував свої результати у відкритій пресі, інформація про них з'являлась і в різних іноземних журналах, він захищав свій пріоритет і публікацією в грудневому числі журналу „The Electrician”, т. 48, с. 235. Перше опубліковане повідомлення про винахід Попова з'явилося 25.04.(7.05.) 1895 р. у газеті „Кронштадтский вестник” за п'ять днів після його першого виступу. Суть свого винаходу Попов виклав у праці „Прилад для виявлення і реєстрації електричних коливань”, опублікованій в журналі „Журнал Русского Физико-Химического Общества”, Фізика, т. 28, с.14, 1896. У цій праці список використаної літератури Попов відкриває посиланням на публікації Лоджа. Статтю Попов закінчив запевненням, що його прилад може бути використаний для передавання сигналів на відстанях за допомогою швидких електричних коливань, як тільки буде знайдено джерело таких коливань з достатньою енергією. В цей же час Попов захопився також експериментальним дослідженням рентгенівських променів, до яких була прикута увага фізиків світу.

Попов був коректним науковцем і до патентування своїх винаходів ставився достатньо критично. Цією можливістю аж ніяк не нехтував видатний винахідник та підприємець Марконі, який 02.07.1896 р. подав заяву на англійський патент „на удосконалення в передачі імпульсів і сигналів



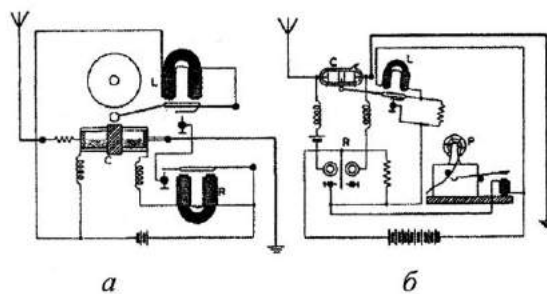
та в апаратурі для цього”, і, згодом, уточнивши цю заявку, одержав 02.07.1897 р. у двадцятидворічному віці патент № 12039. Водночас у деяких країнах (зокрема і в Росії) Марконі з посиланнями на досліди Попова було відмовлено у видачі патентів. Отже, за хронологією подій Попову мав би належати пріоритет у винаході радіо. Проте часто право на пріоритет у справах винаходів регулюється законодавством про патентування.

Син провінційного священика О.С. Попов був скромною і цнотливою людиною. Обставини його життя були важкими. Від постійного недоїдання в роки навчання в Петербурзькому університеті він втратив здоров'я. Попов не зміг подолати бюрократичних бар'єрів і не досягнув, за винятком епізодичних випадків (відома історія про зняття з каменів біля острова Гюгланд у Фінській затоці російського броненосця взимку 1900 року та принагідне зняття з крижини у відкритому морі п'ятдесяти рибалок, яким уперше в світі завдяки напрацюванням Попова і можливостям радіо було врятовано життя), широкого і перспективного впровадження результатів своєї праці для практичного використання хоча б у флоті Російської імперії, яка не особливо сприяла жертвній праці вітчизняних талантів. Морський міністр відмовився профінансувати дослідження Попова з резолюцією: „На таку химеру виділяти кошти не дозволяю”. Марконі теж було одержав від свого італійського міністра відмову, однак, він знайшов вихід – виїхав з Італії до Англії і там поставив справу на комерційну основу. Попов, очевидно, не бачив для себе аналогічної альтернативи.

Апаратурою Попова скористалися 1897 року на Балтійському флоті. Попов зі своїм асистентом П. Рибкіним виготовили 15 радіостанцій, і 1898 року – на Чорноморському флоті, де було зафіксовано дальність зв'язку між кораблями під час шторму більшу від 50 км. А 1897 року Попов уперше дослідив відбиття електро-магнетних хвиль від кораблів та інших предметів і заклав цими дослідженнями фізичні основи радіолокації. Однак перші досягнення російських ентузіастів не мали достатньої підтримки та розвитку, і російський флот вирушав на Російсько-японську війну 1905 року з корабельними радіостанціями, закупленими в іноземних виробників, зокрема й у фірми Марконі, на що звернув увагу автор праці

[7] про початок радіозв'язку та діяльність Марконі і Попова.

За життя Попов не здобув належної підтримки. Він помер 31.12. (13.01.) 1906 року від інсульту після бурхливого прийому в сумнозвісного міні-



Схеми перших приймачів: а – Попова, б – Марконі

стра внутрішніх справ Дурново. За чотири дні до цієї трагічної події російські фізики виявили професорові Попову високу честь і обрали його головою Російського Фізичного Товариства.

Лідером радіотехнології на три десятиріччя залишився Марконі, чия роль ще на початку його успішної діяльності виокремив Попов у такий спосіб: „Заслуга відкриття явищ, які послужили Марконі, належить Герцу і Бранлі, за цим іде ціла низка використань, які розпочали Мінчин, Лодж і багато після них, зокрема і я, а Марконі перший мав сміливість стати на практичний ґрунт і досягнув у своїх дослідях великих відстаней удосконаленням чинних приладів”.

Цікавим є судження Попова, публічно виголошене 1900 року про Марконі та видатного винахідника хорвата Нікола Тесла (Nikola Tesla, 1856–1943), який у США зареєстрував понад 700 своїх патентів. У 1893 році у Філадельфії Тесла успішно розробляв проблему передачі енергії електромагнетними хвилями, він описав і продемонстрував бездротовий зв'язок, особливої ваги надаючи ролі антени та встановленню резонансу в передатчику та приймачі за допомогою реактивних опорів, що було зареєстровано 1897 року в його патенті № 645576. Коли Марконі 1900 року почав продавати свою радіоапаратуру, то Тесла заявив, що буде з ним судитись за неправомірне використання італійцем чужої праці. Справді, Верховний суд США 1943 року анулював основний американський патент Марконі № 763772



1904 року на тій підставі, що Тесла був попередником Марконі і саме Тесла може вважатись батьком бездротового зв'язку та радіо. Попов на з'їзді інженерів-електриків висловився так: „Випромінювання і прийом сигналів Марконі за методом електричних осциляцій не є новим. В Америці знаменитий інженер Нікола Тесла здійснив такі експерименти 1893 року”. Тесла не розвинув свої дослідження і був змушений їх припинити через відмову спонсора фінансувати їх.

Попов і Марконі особисто познайомились у липні 1902 року, коли Марконі 12.07.1902 року прибув на наданому в його розпорядження італійським королем крейсері „Carlo Alberto” до Кронштадта. Марконі та його радіорубку спершу вшанував своїм візитом російський імператор Микола II, а за декілька днів у Марконі побував і Попов, який зацікавлено оглянув апаратуру, що забезпечувала зв'язок на відстані 1600 морських миль, та поспілкувався з італійським колегою, який після високого візиту імператора став кавалером російського ордена св. Анни.

Поговоримо докладніше про діяльність Марконі. Гугльєльмо Марконі (Guglielmo Marconi) народився 25.04.1874 року поблизу міста Болонья в Італії. Його батько Джузеппе Марконі був італійським підприємцем і землевласником, а мати Анні Джеймсон – донькою ірландця Ендрю Джеймсона (Andrew Jameson), власника відомої й нині фірми з виготовлення віскі. Марконі навчався приватно в Болоньї та Флоренції. У юнацькому віці він цікавився фізикою та електрикою. Марконі ніколи регулярно не відвідував університету і лекції у ньому слухав вибірково. На Марконі великий вплив мали професори Вінченцо Роза та Августо Рігі, який, як згадувалось вище, листувався з Поповим і знав його праці. Не маючи формальної освіти, Марконі читав праці Герца, Бранлі та Рігі, лекції якого він слухав 1894 року в Болоньї і від якого одержав стимул до власних дослідів. Експерименти з метою використати хвилі Герца для бездротової передачі телеграфних знаків Марконі розпочав на Вілла Гриффоне, недалеко від Болоньї на горіщі батьківського дому на початку, як він 11.12.1909 р. розповів у нобелівській лекції, 1895 року. Найближчим радником і натхненником Марконі в усіх його ранніх дослідях, і в його справах у зрілому віці була його мати.

Першим важливим досягненням Марконі було підвищення чутливості когерера, в якому він залізни ошурки замінив після сотень спроб на суміш ошурок срібла і нікелю у певному співвідношенні. Марконі постійно вдосконалював свою апаратуру. У перших дослідах, які були пов'язані зі збільшенням висоти антени та електричної місткості на виході передавача та на вході приймача за кілька місяців безупинних пошуків на початку літа 1895 року відстань від передавача до приймача збільшилась від кількох метрів до 2400 метрів. Про одержання сигналів під час їхньої передачі на значну відстань по прямій лінії слуга повідомляв Марконі розмахуванням хустинкою, а про надходження сигналу понад пагорбом – гучним пострілом з рушниці.

Ще в своїх перших дослідах Марконі намагався скеровувати сигнал передавача напівсферичною мідною антеною в напрямку до приймача, чия мідна антена також мала відповідну форму для концентрації сигналу. Це приладдя було, однак, неефективним, оскільки його геометричні розміри були значно менші від довжини домінуючої електромагнетної хвилі. Згодом Марконі розвинув свої дослідження в цьому напрямі й 1905 року запатентував горизонтально скеровану багатоелементну антену, яка стала базовою для сучасних антен і уможливила Марконі налагодити радіозв'язок між Англією та Австралією. Під час експериментів з налагодження дальнього радіозв'язку Марконі відкрив явище йоносферної рефракції, при якому радіохвилі певного частотного діапазону відхиляються нижчими шарами йоносфери, що уможливує проходження сигналів на великі відстані. Марконі справедливо припустив, що погіршене проходження сигналів удень пов'язано з підвищенням електропровідності йоносфери внаслідок сонячного опромінення.

Марконі намагався зацікавити перспективами, які випливали з його дослідів, італійського міністра зв'язку, однак не знайшов у нього підтримки, натомість одержавши відповідь, що адміністрацію цілком задовольняє чинний телеграф. Марконі не зупинився перед бар'єром. Швидкий та енергійний, він з матір'ю у лютому 1896 року з'явився в Лондоні, розраховуючи не лише на підтримку родичів, а й на те, що він зацікавить офіційних осіб, які розуміють потребу оперативного



зв'язку між метрополією та колоніями Британської імперії, що простягались по всьому світі. Це йому вдалось. За посередництвом родичів він налагодив тривалі ділові стосунки з головним інженером британського телеграфу Прісом (Sir William Preece, 1834–1913), який також працював над бездротовим телеграфом на основі індукційних явищ і який підтримав 22-річного юнака в його сміливих та актуальних намірах забезпечити зв'язок на великих відстанях. Марконі також зареєстрував 02.06.1896 року британський патент № 12039, чим юридично захистив свій пріоритет винахідника.

Патентну чистоту винаходу Марконі обговорювало багато дослідників. Рігі, наприклад, про свого учня написав 1903 року у книжці, що радіопередавач Марконі був ідентичним передавачеві самого Рігі, а приймач Марконі був настільки близький до приймача Попова, що відносно суттєвих компонент і частин запатентована Марконі апаратура не має ніяких прав. Рігі також зауважив, що Попов описав свій приймач з антеною ще у травні 1895 року, тоді як Марконі подав свою першу заявку на патент лише 02.07.1896 р., згодом уточнив її та одержав патент 02.07.1897 р. Скидається на те, що Марконі зумів використовувати і поліпшувати відомі засоби для встановлення радіозв'язку на все більших та більших відстанях і для цього постійно модернізував свою апаратуру, спершу її патентуючи, а потім оприлюднюючи свої результати, що дало йому змогу успішно захищати свої комерційні інтереси.

І. Марконі 02.09.1896 р. здійснив історичну демонстрацію сеансу радіозв'язку, на яку були запрошені офіційні особи з пошти, військово-морського флоту та армії. На одній з наступних демонстрацій у березні 1897 року, де Марконі подолав відстань 11,2 км, офіційним представником від флоту був згаданий вище капітан Джексон. У рапорті керівництву Джексон, який був присутній і на попередній демонстрації, доповів, що покази були повними та змістовними і давали досить багато інформації про деталі апаратури. Спостерігач від армії майор Кар (Carr) був вражений показом і Марконі відразу запитав, чи не можна активувати приймач на морській міні й змусити її вибухнути на відстані. Джексон визнав у рапорті, що різниця між його апаратурою, з якою він раніше експериментував на судах, та апаратурою Марконі була

незначною, і результати обох були подібними, хоча результати Джексона виявились дещо гіршими, оскільки він мав менш потужний передавач і менш чутливу приймальну апаратуру, ніж Марконі. Для порівняння він також додав, що при передаванні сигналів на відстані 3,2 км апаратура Марконі споживає 15 Вт, тоді як лампа на щоглі корабля має потужність 260 Вт, і зробив припущення, що апаратура Марконі поза флотом та армією не знайде попиту [8].

Пріс, який підтримував Марконі й постійно асистував йому при дослідах та демонстраціях, прочитав 12.16.1896 р. перед численною аудиторією лекцію про новий спосіб зв'язку. Присутні представники преси дали в своїх газетах повідомлення під сенсаційними заголовками „Марконі-винахідник радіо”. Ці повідомлення рознесли по світу і зразу ж викликали гостру реакцію в колах науковців. Наприклад, Лодж, який багато цінного зробив для радіо і ще 1884 року в Оксфорді приймав сигнали на відстані 138 метрів, був просто приголомшений. Проте 1897 року Лодж був змушений визнати, що з його боку було безглуздя свого часу не зробити жодної спроби щодо практичного використання результатів своїх дослідів чи хоча б з'ясувати, як далеко від передавача можна детектувати сигнали. Молодий Резерфорд (Sir Ernest Rutherford, 1871–1937) у червні 1896 року в Кембриджі також приймав сигнали за допомогою магнетного детектора на значній відстані 800 метрів, однак і він не подбав про розвиток своїх дослідів для практичних потреб, на що була орієнтована діяльність Марконі.

За успіхами Марконі уважно стежив німецький дослідник професор Слабі (Adolf Slaby, 1849–1913). Він був присутнім при публічних дослідах Марконі 10.05.1897 і після повернення до Німеччини в червні відтворив їх, а вже 07.10.1897 він і його асистент Арко (Georg Graf von Arco, 1869–1940) передавав сигнали на відстань 21 км. До цих досліджень долучився професор Браун (Karl Ferdinand Braun, 1850–1918), відомий винаходами електронного осцилографа, потрібного для дослідження електричних коливань, та кристалічного детектора, яким 1903 року було замінено когерер у модернізованій апаратурі з коливними контурами, на які він мав патент 1898 року. Внаслідок об'єднання зусиль цих дослідників 1903 року в Німеччині виникла фірма Telefunken-Gesellschaft [9].



У червні 1897 року Марконі зробив свою першу публічну доповідь про бездротову передачу сигналів. За кілька днів текст доповіді було опубліковано в журналах „The Electrician” у Лондоні та L’Industrie e’lectrique у Парижі. З цього почалась світова наукова слава Марконі. Поштове відомство не викупило у Марконі його патенту № 12039, і він з кузеном Г. Джеймсоном (H. Jameson-Davis) та його колегами заклав 20.07.1897 комерційну фірму Wireless Telegraph and Signal Co., яка після низки перейменувань існує досі як „Marconi Corporation plc”. У грудні 1898 року в містечку Гелмсфорд на місці старої фабрики шовку фірма Марконі заснувала перший у світі радіо-завод. У США 22.11.1899 р. також виникла компанія Марконі, вона спершу називалась „Marconi’s Wireless Telegraph Company of America”, а з 1919 року прибрала назву „Radio Corporation of America” (RCA). Отже, Марконі став монополістом на ринку радіозв’язку і тривалий час утримував цю позицію.

На важливість патентування і роль патентів у діяльності Марконі вказує такий епізод. Лодж запропонував 1897 року використовувати передатчик і приймач на спільній частоті з метою ефективнішого використання потужності й зменшення перешкод від інших систем радіозв’язку з іншими частотами. Ідея Лоджа полягала в настроюванні на резонансну частоту в кожному апараті за допомогою зміни індуктивності. Марконі був першим, хто на практиці використав цей метод так званого синтонізованого бездротового телеграфа і зареєстрував 1900 року відповідний патент № 7777. Цей патент, звичайно, згадують як найзнаменитіший в історії радіотелеграфії. Однак Лодж сприйняв цей патент як підступ проти нього, і компанія Марконі була змушена 1911 року заплатити за патент відступне, щоб запобігти явному конфліктові.

Бездротовий зв’язок з подачі Марконі знайшов своє перше використання у військових під час англо-бурської війни 1898 року в Африці. Марконі 27.03.1898 р. встановлює перший бездротовий міжнародний радіозв’язок між Англією та Францією. Першу оплачену радіограму 03.06.1898 р. вислав завдяки послугам мережі Марконі видатний фізик Кельвін (Sir Kelvin, William Thomson, 1824–1907). Узимку, 12.12.1901 р., Марконі передав сигнал понад Атлантикою, переславши з

Канади до Англії літеру „S” в абетці Морзе і показавши до того ж дослідним шляхом, що кривизна Землі не є перешкодою для дального радіозв’язку. Цей результат мав важливе практичне та науково-теоретичне значення.

Постійно модернізуючи свою апаратуру, Марконі істотно підвищив чутливість приймача, замінивши в ньому когерер на запатентований ним 1902 року магнетний детектор. За кілька років його апаратура вже працювала на вакуумних електронних лампах, які з’явилися завдяки дослідженням Лібена (Robert von Lieben, 1878–1913) в Австрії, Флемінга (Sir John Ambrose Fleming, 1849–1945) в Англії та Фореста (Lee de Forest) у США. Практичне використання вакуумних ламп стало можливим після того, як Венельт (Arthur Wehnelt, 1871–1944) 1903 року в Берліні знайшов важливу для розроблення ламп властивість термокатодів, вкритих лужно-земельними оксидами: під час нагрівання вони ефективно емітують електрони. Використанням вакуумних ламп було закінчено початковий період іскрового радіо й прискорено прогрес радіозв’язку.

Радіо принесло людству нові можливості влаштування життя та діяльності. На морі тисячі людей були врятовані завдяки обладнанню кораблів радіостанціями. Після катастрофи з океанським лайнером „Титанік” (14/15.04.1912) унаслідок зіткнення корабля з айсбергом, на міжнародній конференції було вирішено зобов’язати всі судоходні компанії обладнати кораблі радіостанціями, бо багато пасажирів „Титаніка” було врятовано саме тому, що з його борту було подано радіосигнал біді „SOS” і названо координати місця трагедії.

Г. Марконі здобув високий авторитет і велику популярність. Його з професором Брауном нагородили Нобелівською премією з фізики 1909 року. Разом з ними кандидатами на цю найпрестижнішу для науковців премію було також номіновано Августо Рігі та Едуарда Бранлі за наукові дослідження та технічне використання хвиль Герца [10]. Прізвища Попова в списку претендентів вже не могло бути, бо премія призначена для стимулювання праці активних науковців.

Під час Першої світової війни Марконі служив офіцером італійського війська. За дипломатичний хист його було призначено повноважним представником Італії на Мирній конференції 1919 року в Парижі, де Марконі підписав договори про мир



з Австрією та Болгарією. За заслуги перед Італією 1929 року йому було надано спадковий титул маркіза і 1930 року його обрали президентом Королівської академії наук. Марконі був також депутатом італійського сенату, належав до фашистської партії і деякий час дружив з італійським дуче Муссоліні. Останнє його донька Дегна пояснювала політичною наївністю батька, до якого політичне прозріння прийшло після нападу Італії на Абіссінію 1935 року. Темпераментний Марконі завжди поспішав. Марконі був заядливим мисливцем і гонщиком, він 1911 року в автокатастрофі навіть втратив праве око, коли його новенький автомобіль „Фіат” зіштовхнувся із зустрічним авто.

Ще за життя Г. Марконі став національною гордістю Італії. Помер Марконі від серцевого нападу 20 липня 1937 року у Римі. Радіостанції світу на знак жалоби і втрати Марконі перервали трансляції на дві хвилини.

Про винахід радіо та піонерів зв'язку є багато книжок і наукових праць, автори яких дотримуються різних поглядів. Директор 1-го Фізичного інституту при університеті міста Геттінген професор Р. Поль (Robert Wichard Pohl, 1884–1976) [11] також виклав свій погляд щодо початку історії бездротового електрозв'язку, 1933 року в Геттінгені в доповіді з нагоди 100-річного ювілею електромагнетного телеграфу К. Гауса (Karl Friedrich Gauss, 1777–1855) і В. Вебера (Wilhelm Weber, 1804–1891) Поль наголосив, що завдяки натягнутій дротяній антені факт надходження сигналу від блискавки до детектора у вигляді жаб'ячої лапки зафіксував ще 1791 року Л. Гальвані (Luigi Galvani, 1737–1798). Так Поль подовжив історію радіо як фізичного явища на одне сторіччя. Далі процитуймо Поля: „Досліди Гальвані були, я повторюю, опубліковані 1791 року, основний дослід бездротового телеграфу був відомий за 40 років до Гауса і Вебера. Однак цього ніхто не помітив. Лише 1865 року Максвелл висловився про існування електричних хвиль. Гайнріх Герц 1887 року приходить до тих же дослідів, що й Гальвані, коли він, блискуче навчений теорії, шукає і знаходить електричні хвилі. Марконі 1895 року ставить досліди Герца на службу телеграфу” [12].

Отже, до винаходу радіо причетні багато яскравих дослідників та винахідників з різних

країн. Їх з вдячністю згадують в усьому світі всюди, куди електромагнетні радіохвилі приносять інформацію. В Україні традиційно і цілком заслужено найбільше шанують російського винахідника радіо Попова. Показово, що українські зв'язківці навчаються в Одесі в Академії зв'язку, яка носить історичне ім'я професора Олександра Степановича Попова.

Автор щиро вдячний за допомогу професорові Д. Лінке (Dietmar Linke, Cottbus, BRD), панові Г. Нойфельду (H. Neufeld, Berlin) та докторові М. Пономаренко (Київ).

Література

1. Изобретение радио. А.С. Попов. Документы и материалы/ Под ред. акад. А.И. Берга. – М.: Наука, 1966.
2. Ch. Susskind. Popov and beginning of radiotelegraphy //Proc. of the IRE. – 1962. – Vol. 50. – P. 2036–2047.
3. Морозов И. Д. Что изобрел А.С. Попов и за что получил патент Г. Маркони// Гордость Отечества, 2002. № 16, 20. – <http://www.1september.ru/ru/fiz/2002/16/no16-1.htm> 2002/20/no/20-1.htm
4. Flichy P. Geschichte der Modernen Kommunikation. – Frankfurt am Main, New York: Campus Verlag, 1994.
5. Reuter M. Telekommunikation. Aus der Geschichte in die Zukunft.-Heinrich Gertz endekt elektromagnetische Wellen. – Heidelberg: R.v. Decker's Verlag, 1990.
6. Глебова А.М. Експериментальне підтвердження теорії електромагнітного поля українським фізиком М.М. Шіллером (1874–1876) // Нариси з історії природознавства і техніки. – 2002. – № 44. С. 18–33.
7. Smith-Rose R.L. Markoni, Popov, and the dawn of radiokommunikation// Electronics and Power. – 1964. March. – P. 76–79.
8. Simons R.W. Guglielmo Markoni and early systems of wireless communication // GEC Review. – 1996. – Vol. 11, – No.1. – P. 37–55.
9. Graf von Klinckowstroem C. Knaurs Geschichte der Technik: Funk, Fernsehen und Radar / Munchen, Zurich: Verlag Droemer Knaur, 1972.
10. Hoffmann D., Lemmerich J. 100 Jahre Quantentheorie: Die Vor- und Frühgeschichte. – Berlin, Herausgeber: Deutsche Physikalische Gesellschaft, Bad Honner, 2000.
11. Проскура О. І., Храмов Ю.О., Поль Р. В. // Нариси з історії природознавства і техніки, 2002. – № 44. – С. 60–66.
12. Pohl R.W. Zur Jahrhundertfeier des elektromagnetischen Telegraphen von Gauss und Weber// Universitaetsbund Guttingen Mitteilungen. – 1934. –Jahrgang 16. – Heft 1. – S. 1–8.



Георгій Гамов і розщеплення атомного ядра

Юрій Ранюк,

*професор Національного наукового центру
„Харківський фізико-технічний інститут”*

У 2002 році минуло 70 років, як навесні в Кембриджі, та восени того ж року (1932) у Харкові було здійснено експеримент з розщеплення ядра штучно прискореними протонами.

Атомне ядро виявив 1911 року та вперше його розщепив 1919 року за допомогою α -частинок радіо Ернест Резерфорд. Дослідження атомного ядра за допомогою природних α -променів були недосконалі: низька інтенсивність випромінювання, відсутність можливості регулювати енергію частинок тощо. Нільс Бор писав: „Не зважаючи на те, що в цих дослідженнях було отримано багато нових важливих даних, ставало все очевиднішим, що для справжнього розв’язання проблеми ядра недостатньо природних α -частинок і що бажано мати у своєму розпорядженні інтенсивні пучки частинок високої енергії, отриманих шляхом прискорення йонів”. Це, звичайно, розуміли експериментатори. Але на цьому шляху виявилася нездоланна перешкода – потреба мати джерела високої, кілька мільйонів вольт електричну напругу, оскільки тоді частинки можна було прискорити лише прямим способом за допомогою електричного поля. Величина цієї напруги визначалася енергією α -випромінювання ядер, а також розрахунками, які були виконані за рівняннями класичної фізики.

Так було доти, доки одесит Георгій Гамов, на той час 24-річний аспірант Ленінградського університету, не застосував принципів нової тоді хвильової механіки до α -розпаду та до розрахунків імовірності проникнення зарядженої частинки в ядро. За його розрахунками, ця енергія виявилася не такою вже й великою та цілковито доступною



Георгій Гамов на час створення теорії α -розпаду

для проведення експерименту. Трапилося це 1928 року в Геттингені. Молодий науковець поспішив ознайомити із сенсаційним результатами своїх розрахунків Н. Бора. Бор негайно спрямував його до Резерфорда, щоб ознайомити з результатами цих розрахунків. Ось як описав тодішні події один із учнів Резерфорда Т. Аллібон: „Як раз на той час, узимку 1928–1929 рр., до Кембриджу приїхав російський учений Гамов і прочитав лекцію про нові ідеї в квантовій механіці – про існування енергетичного бар’єра довкола ядра. Пам’ятаю, як після лекції ми з Волтоном спустилися східцями в нашу лабораторію і підійшли до Кокрофта, який працював у тій же кімнаті. Кокрофт саме підставляв у формули Гамова числа, які можна було



отримати на той час для йонного струму, – це 1 мкА протонів, прискорених до енергії 0,5 МеВ – щоб з'ясувати ймовірність проникнення протонів крізь енергетичний бар'єр ядра бора. Навіть після врахування можливих втрат ці числа видавалися цілковито прийнятними, і за деякий час він подав Резерфордові пояснювальну записку з пропозицією збудувати трубку на напругу 0,5 МВ для прискорення протонів, подібну до моєї, але таку, що живиться постійним струмом (я працював зі змінним струмом). Волтон припинив свої спроби прискорити електрони й приєднався до Кокрофта. Як відомо, за три роки вони досягли успіху" [1].

А ось як пригадує цю подію сам Гамов:

„Так просто, – здивувався Резерфорд. – А я гадав, що Вам доведеться списати стоси паперу клятими формулами”.

„Ні в якому разі”, – відповів я [2].

Резерфорд запросив Джона Кокрофта та Ернеста Волтона, з якими попередньо обговорив можливість експерименту.

„Збудуйте мені прискорювач на один мільйон електрон-вольтів, тоді ми без проблем розіб'ємо ядро літію”, – сказав Резерфорд. І вони збудували прискорювач. Згодом, коли я відсиджувався в Ленінграді й мене повідомили про цей успіх, я надіслав Кокрофту таку телеграму: „Добрий удар, Джоне. Гарні протони для гольфа”.

Тепер повернемося до Харкова.

Уряд України 16 травня 1928 року прийняв рішення про заснування Українського фізико-технічного інституту (УФТІ) і вже в травні 1929 року



Кирило Синельников та Георгій Гамов у мандрях Англією. 1929 рік.



Радянський десант у Кембриджі.

Зліва направо: Георгій Гамов, Петро Катиця, Іван Обреїмов, Кирило Синельников

новий Інститут голосно, на увесь світ, заявив про себе проведенням у Харкові першої Всесоюзної конференції з теоретичної фізики [3]. Доповідь Гамова на ній була єдиною, що торкалась проблем ядерної фізики. Він виклав свою вже знамениту працю про α -розпад, завдяки якій до нього прийшло світове визнання.

На час створення УФТІ у Радянському Союзі не було інституту, чи бодай лабораторії, де б цілеспрямовано займалися ядернофізичними дослідженнями. Не планувались ці дослідження і в УФТІ, який створювався як суто криогенна лабораторія. Наприкінці літа 1931 року в Інституті розпочалася підготовка експерименту з розщеплення атомного ядра штучно прискореними протонами. Мова йде про той самий експеримент, підготовка якого вже велася в Кембриджі.

Один з учасників майбутнього експерименту Кирило Синельников, що прибув до Харкова 2 червня 1930 року, перед цим два роки провів у Кавендишській лабораторії. Немає сумніву, що він уважно стежив за ходом підготовки досліду Кокрофта і Волтона, ініційованого його другом Гамовим, який рік перебував у Кембриджі. Разом вони об'їздили на мотоциклі всю Англію.

Чому цей напрям досліджень було започатковано в УФТІ саме в серпні 1931 року? На жаль, довоєнні архіви Інституту згоріли під час війни. Тому чи не єдина змога довідатися про події того часу – скористатися листами дружини Синельникова Едни Купер, які вона писала своїй сестрі до Англії у серпні 1931 року [4].



Кирило Синельников

„Коли Капиця, домовляючись з Резерфордом про зарахування до Кевендишської лабораторії ще одного практиканта з Росії, запитав, які для цього потрібно надіслати документи, Резерфорд відповів: „Нехай надішле фотокартку.” Вона дещо „легковажна”, але Резерфордові сподобалася і Синельникова було прийнято.”

„2 серпня

Зараз ми приймаємо в себе доктора Аллібона з Кембриджу, який прибув з дводенним візитом. Із Ленінграду зателефонував Гамов і повідомив про свій приїзд наступного тижня. Ніхто не знає, що йому тут треба. Кокрофт і Вебстер прибудуть з Кембриджу згодом, отже, до самого вересня нудьгувати нам не доведеться.”

„11 серпня

Джоні Гамов повернувся до Росії й до Харкова і, мешкаючи в нашій квартирі, подарував мені шматок штучно виробленого паперу, на якому я і пишу тобі цього листа. Він все ж такий же енергійний, знічується, коли не має що робити. Перші дні з ним було дуже весело, ми ходили в кіно, до театру, по морозиво, але наші кишені не дають змоги робити це часто, а зараз я взагалі не хочу нічого витратити, поки не приїде Кокрофт. На щастя, Джоні вже набридло в Харкові й він телеграфував Дімосові (Дмитро Іваненко, теоретик, друг Гамова) до Ленінграду, аби той дістав йому квиток на подорож по Волзі. Оскільки він знову

збирається за кордон, то я не знаю, як він встигне ще й на Волгу? Але це його справа. Він приїхав додому безповоротно закоханим, планує влаштувати тут дім для нареченої, яку збирається привезти. Але за п'ять днів він уже трохи охолов. Шкода, бо його наречена має чарівний вигляд, вона шведська танцюристка, я тобі про це уже писала. Певно, Джоні стане відповідальнішою особою, коли одружиться. Наскільки я бачу, він прибув до Харкова для того, щоб скористатися пільгами, які може надати наш Інститут, а працювати тут не збирається.

Зараз я корегую тези, які Джоні написав англійською для конференції, що відбудеться в Римі. Вони страшенно зарозумні, я не розумію жодного слова „оскільки основний рівень протона в радіоактивному ядрі дуже глибокий, протон матиме велике збудження перед емісією.”

„12 серпня

Наш учений друг, імені якого я не називаю, відбув до Ленінграду на зустріч з Дімосом перед подорожжю по Волзі. Він таки вирішив, що Харків для нього трошки нудний, незважаючи на те, що йому виділили квартиру, яка була призначена комусь іншому. Це було зроблено завдяки клопотанню нашого Інституту, а також тому, що Джоні має закордонного паспорта. Він сказав, що не може тут більше залишатись і подався до



Е. Резерфорд і К. Синельников



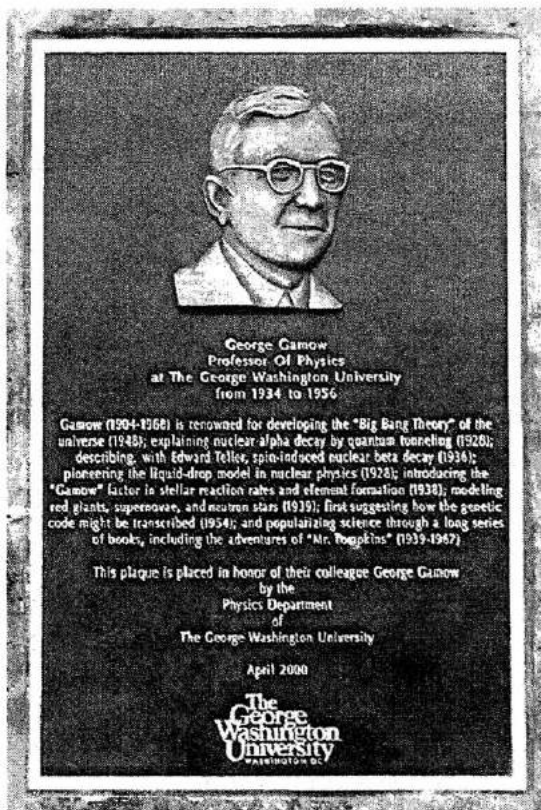
Ленінграду. Я не знаю, що думають про це Кіра та Іван Васильович, але мені цей трюк не дуже подобається: приїхав, отримав ні за що, ні про що гроші, а потім накивав п'ятами."

„20 серпня

Я дуже зайнята, бо завтра Кокрофт та Вебстер обідають у нас. Кіра дуже щасливий, що вони тут. Хоч ніхто з нас не збирається жити в Англії, ми з задоволенням згадуємо дні, проведені в Кембриджі й для нас велика радість поновити кембриджські знайомства."

„26 серпня

Наші англійські візитери прибули і сьогодні вже від'їздять. Це Кокрофт і Вебстер та двоє інших фізиків, та ще семеро чи восьмеро інших учених, двоє з яких з дружинами. Моя кімната ледве вмістила їх. Але, на щастя, вони приходили не всі одразу, а по троє, або по четверо. Всі вони дуже приємні люди, запросили нас до свого готелю та в „Динамо" на морозиво.



Пам'ятна дошка, яка встановлена на честь Гамова в університеті Дж. Вашингтона

...Можу сказати, що на гостей наш Інститут справив враження. Вони сказали, що він напрочуд чистий і добре зорганізований, краще, ніж Кембридж. Як бачиш, не все так погано."

У листах Едни, в яких ідеться про Гамова, не можна все сприймати буквально. Не тому, що вона щось вигадувала, а тому, що Джоні був великим жартівником, містифікатором і майстром фарсу.

З листів Едни Альфредівни може скластися враження, що Гадов приїхав до Харкова лише для того, щоб влаштувати свято уфтинському жіноцтву, що йому, безперечно, вдалося. Та навряд чи він приїздив лише заради цього. Можна не сумніватися в тому, що він мав зустрічі та розмови з фізиками, яких добре знав з Ленінграду, а Синельникова ще й з Кембриджу, і що темою розмов був дослід із розщеплення атомного ядра. Щоправда, виникає запитання про те, що робив у Харкові кембриджський десант, який здійснив масований наїзд на Інститут у серпні 1931 року. І чому Гадов спланував свій візит так, щоб, з одного боку, побувати у цей час у Харкові та, з іншого, ні з ким із них не зустрітися? Нам видається, що саме в ці відвідини Харкова Гадова було зараховано на посаду консультанта УФТІ, оскільки Една Альфредівна у своєму листі щось багато пише про гроші. Але немає сумніву в тому, що саме завдяки ініціативі й наполегливості Гадова досліди з розщеплення атомного ядра були розпочаті й у Кембриджі, і в Харкові. Про це встиг добре сказати Йоффе: „Теорія Гадова відкрила шлях для проникнення в ядро" [5].

Щоправда, в Інституті ніхто ніколи не згадував про це. У тому немає нічого дивного, адже Гадов був „невозвращенцем". Згадувати про будь-які контакти з ним, – ба!, – навіть його ім'я було небезпечно. А коли стало можливим про нього згадати, то зробити це вже було нікому. Дивно, що про його роль не було згадки в жодній газетній публікації з нагоди успішного розщеплення атомного ядра 1932 року, на які цей рік був дуже багатий.

Донька Синельникова Джил розповідала, що її мати завжди з великою теплою згадувала Гамова. Як вони дружили із Синельниковим і разом на мотоциклі об'їздили майже всю Англію. Джоні



дуже посприяв тому, щоб музичні вечори Едні та Кіри в Кембриджі – вона грала на скрипці, а він їй акомпонував – закінчилися шлюбом.

Дж. Кокрофта і Е. Волтона нагородили Нобелівською премією з фізики 1951 року „за трансмутацію елементів штучно прискореними частинками”. Наш великий земляк не отримав цієї премії, хоча він, як ніхто інший, її заслугоував.

На подвір’ї університету імені Дж. Вашингтона в м. Вашингтоні 2000 року встановили пам’ятну таблицю, присвячений Дж. Гамову. На ній викарбувано його основні наукові досягнення. Будемо сподіватися, що подібний пам’ятник з’явиться і в Харкові 2004 року з нагоди 100-річчя від дня народження нашого видатного земляка.

Література

1. Аллибон Т. Резерфорд, клуб Королевского общества и Королевский институт// Резерфорд – ученый и учитель/ Под редакцией академика П.Л. Капицы. М.: Наука, 1973.
2. George Gamov. My world line. An informal autobiography. The Viking Press, New York 1970.
3. Конференція по теоретичній фізиці у Харкові в 1929 році // Укр. фіз. записки – 1930. – № 2. – С. 116.
4. I married a Russian. Letters from Kharkov/ Ed. by Lucie Street. – London, George Allen & Unwin Ltd., 1946.
5. Йоффе А. Ф. Атомное ядро сегодня. Лекция, читанная 19 февраля 1934 г. в клубе 1 МГУ. – М.; Л., 1934. – С. 31.

Запрошуємо на навчання

Природничий коледж Львівського національного університету імені Івана Франка

Навчання у коледжі проводиться на шести відділеннях: *біологічних, хімічних, геологічних, географічних, комп’ютерних наук та електроніки.*

Відділення біологічних наук готує молодших спеціалістів зі спеціальності „Прикладна екологія”, які здобувають знання за спеціалізацією „Біоекологія”.

Студенти, які навчаються на **хімічному відділенні**, одержують кваліфікацію молодший спеціаліст зі спеціальності „Аналітичний контроль якості хімічних сполук”.

Відділення геологічних наук готує техніків-екологів за спеціальністю „Прикладна екологія”, які стануть фахівцями за спеціалізацією „Екологія геологічного та суміжних середовищ”.

Відділення географічних наук готує техніків-екологів за спеціальністю „Прикладна екологія”, які стануть фахівцями за спеціалізацією „Екологія землекористування і агробізнес”.

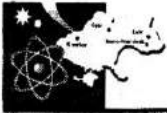
Відділення комп’ютерних наук готує молодших спеціалістів зі спеціальності „Експлуатація систем обробки інформації та прийняття рішень”.

Відділення електроніки готує молодших спеціалістів зі спеціальності „Конструювання, виробництво і технічне обслуговування виробів електронної техніки”.

Випускники Природничого коледжу зі спеціальності „Конструювання, виробництво і технічне обслуговування виробів електронної техніки”, „Експлуатація систем обробки інформації та прийняття рішень” можуть продовжити навчання на третьому курсі Фізичного факультету та Факультету електроніки, випускники спеціальності „Аналітичний контроль якості хімічних сполук” – на Хімічному факультеті, зі спеціальності „Прикладна екологія” – на Біологічному, Геологічному та Географічному факультетах.

Вступ на всі спеціальності проводиться за результатами тестування з профільних дисциплін, відповідно з біології, хімії, геології, географії або фізики та української мови і літератури. Університет проводить заочно-очні олімпіади з профільних дисциплін для учнів 11-х класів. За результатами вступних випробувань лише з профільних дисциплін учасники заочно-очних олімпіад можуть бути рекомендованими до зарахування в Природничий коледж. Університет щороку також організовує тестування з профільних дисциплін для учнів 11-х класів, які постійно проживають і навчаються у сільській місцевості. Переможці цих тестувань користуються пільгами під час вступу до коледжу.

Форма навчання – *денна*. Термін навчання – *три роки*. Навчання – *бюджетне та платне* на базі повної середньої освіти.



*До 100-річчя від дня народження
Зеновія Храпливого*



Професор Храпливий

Петро Тацуняк,
*Львівський національний
університет імені Івана Франка*

Українська наукова громадськість березні 2004 року відзначила 100-річчя від дня народження Зеновія Храпливого, видатного українського фізика-теоретика, який пройшов шлях від гімназійного вчителя до професора Львівського університету, професора Міжнародного вільного університету в Мюнхені та професора університету міста Сент-Льюїс у США.

Оскільки друга частина життя професора пройшла за океаном, у радянський час згадувати його ім'я було не прийнято, тому сьогодні мало хто з фізиків середнього і навіть старшого покоління знає це прізвище. Після тривалого замовчування перша офіційна згадка про науковця прозвучала 1990 року у Львові на загальних зборах відродженого НТШ. За сприяння Фізичної комісії НТШ, 1994 року відбувся науковий семінар на тему „Проблеми релятивістської квантової механіки системи частинок”, присвячений 90-річчю від дня народження З. Храпливого. Цього року 15–16 березня в Тернополі відбулась ювілейна наукова конференція „Сучасні проблеми квантової механіки”, присвячена 100-річчю від дня народження Зеновія Храпливого. Її організаторами були Міністерство освіти і науки

України, Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя та Наукове товариство ім. Шевченка. На фізичному факультеті Львівського національного університету імені Івана Франка заходами Фізичної комісії НТШ також відбувся науковий семінар. Ім'я вченого відзначено в Україні гідно.

Зеновій (Зенон)-Володимир Храпливий народився 15.03.1904 року в сім'ї сільського вчителя в селі Лисівцях, Заліщицького повіту на Тернопільщині. Батько Василь був директором народної школи, мати Софія-Стефанія із священничої родини Ганкевичів. Батько скоро помер, і мати залишилася вдовою із чотирма синами: Іваном, Романом, Євгеном і наймолодшим Зенком. Дітям треба було вчитись у гімназії, тому родина 1908 року переїхала до Тернополя. Усі сини „вийшли в люди”, стали визначними представниками української інтелігенції, що було безумовною заслугою матері, яка мусила жити на скромну пенсію вдови сільського вчителя. Вихованню дітей у патріотичному, козацько-спортивному дусі сприяв також дідусь (батько матері) О. Спиридон, який забирав дітей кожних вакацій на село на парафію. Із організацією 1913 року товариства „Пласт” усі Храпливі стали



пластунами. Як писав З. Храпливий у спогадах, у юнацькі роки вони захоплювались театром, спортом, зокрема футболом, причому навчання завжди було на першому місці. Перша світова війна застала родину на вакаціях у тітки в Сколе в Карпатах. Фронт наближався, до Тернополя уже не можна було повертатись. Навіть дорога до Львова через Стрий була закрита. Залишатись в окупації було нерозважливо, мати могла втратити пенсію, єдине джерело існування. Отож треба було емігрувати. Емігрували довго, товарним потягом через Закарпаття, Моравію, Західну Галичину до Відня, де була українська громада. Тимчасом старші сини були мобілізовані в австрійську армію. На початку Зенко мав змогу вчитись на гімназійних курсах, але згодом емігрантів у Відні стало забагато, і Храпливі переїхали до малого альпійського містечка, де вчитись можна було тільки заочно.

Після війни, 1918 року, мати із сином повернулася до Збаража, де жила її сестра. Старші сини були в полоні, було важко. На щастя із італійського фронту повернувся Роман і як чотар УГА він брав участь в утвердженні української влади на Збарожчині. Щоб допомагати матері, 15-річний Зенко працював на пивному заводі й одночасно самотужки вчився, а 1923 року екстерном склав випускні іспити в Тернопільській гімназії. Того ж року він записався на навчання до Віденського й водночас до Краківського університетів, але через нестачу засобів існування залишив навчання і лише 1926 року вступив до Львівського університету, де 1929 року склав іспит на звання вчителя фізики і математики. Це був тернистий шлях у науку юнака-українця того часу.

Педагогічну працю Зеновій Храпливий починав у Перемишлі, спочатку у приватній гімназії, а згодом – у чоловічій державній українській гімназії. Року 1936 Храпливий повернувся до Львова, де обійняв посаду вчителя фізики 1-ої академічної української гімназії, про працю в університеті не можна було і мріяти. Ще живі нечисленні учні проф. Храпливого, що пам'ятають його як педагога. Академік Остап Парасюк згадує його як педантичного справедливого лектора, який умів захопити учнів своїм предметом і водночас бути строгим. Якщо учень із поточного опитування

одержував двійку тричі поспіль, його більше не питали, він був приречений. Храпливий чи не єдиний із гімназійних учителів, що не мав прізвиська. Це свідчило про його авторитет серед учнів.

Професор Храпливий – автор українського гімназійного підручника „Нарис Фізики”, який вийшов друком 1938 року [1], що було важливою подією в умовах катастрофічної нестачі української шкільної літератури на Галичині у той час.

Водночас з педагогічною працею З. Храпливий займався наукою. Ще працюючи у Перемишлі (нині територія Польщі), доїжджав до Львова, щоб брати участь у роботі наукового семінару Інституту теоретичної фізики при Львівському університеті. Науковий рівень семінару був високий і, головне, тут не було польського шовіністичного духу, що панував на той час у Львівському університеті. Керівниками та учасниками семінару були професори Войцех Рубінович, Стефан Щенковський, Станіслав Лорія, асистенти Леопольд Інфельд та Василь Міліянчук. Це був час бурхливого розквіту квантової механіки. До тієї течії успішно долучився З. Храпливий. За короткий час він написав три праці „Про від’ємні рівні в теорії Дірака” [2], „Про власний потенціал електрона у хвильовій механіці” [3] та „Зауваження про власний потенціал електрона у хвильовій механіці”, що лягли в основу його докторату, який йому присвоїли 1932 року.

У той час уже було відоме рівняння Дірака, що поєднувало теорію відносності з квантовою механікою. Воно давало фізично незрозумілі розв’язки з від’ємними енергіями. Храпливий показав, що намагання деяких авторів пояснити ці розв’язки не витримують критики. Незабаром сам Дірак геніально пояснив рівні від’ємної енергії наявністю у природі частинки з додатним зарядом, яку згодом експериментально відкрили і назвали позитроном.

Наукові успіхи З. Храпливого гідно оцінила українська громадськість: 3 січня 1934 року його обрали дійсним членом НТШ, що на той час прирівнювалось до звання академіка. Уже як дійсний член НТШ З. Храпливий почав займатися нелінійною електродинамікою Борна-Інфельда, очевидно, під впливом одного з авторів, учасника



Львівського теоретичного семінару д-ра Інфельда, який у 1933–1934 рр. був стипендіатом у Кембриджі, де у той час був Макс Борн, що емігрував з Німеччини після приходу до влади Гітлера. Теорія мала амбітну мету – за допомогою нелінійності рівнянь усунути деякі труднощі електродинаміки Максвелла, зокрема трудність нескінченної енергії точкового заряду електрона. З. Храпливий подав свою версію класичної нелінійної електродинаміки [4], що нагадує електродинаміку в середовищі з напругами E , D , H , B , де величина заряду явно не виступає, а впливає з дальшої теорії. Електрон у такій теорії має дуальну природу: якщо він описується полем D , то він є сингулярністю, якщо полем E , то він має скінченний радіус $\sim 10^{-13}$ см. Одержаний вираз потенціалу електрона застосовують для обчислення поправок у спектрі водню, які виявились набагато меншими, як цього вимагали дані експерименту. Це було перше попередження про неповну спроможність нелінійної теорії.



Професор Храпливий на Міжнародній конференції в Парижі (у центрі)

Прихід радянської влади 1939 року на Західну Україну вніс деякі зміни в життя д-ра Храпливого. Хоча діяльність НТШ у Львові припинилася, звання дійсного члена НТШ визнавали. До університету було запрошено дійсних членів НТШ – визначних українських учених, а саме: академіка Василя Щурата, Філарета Колессу, професорів Івана Крип'якевича, Кирила Студинського, Володимира Левицького, Мирона Зарицького та інших. Докторові Храпливому було запропоновано посаду професора кафедри теоретичної фізики і навіть призначено проректором з навчальної роботи університету. Відомо, що тоді він читав курс статистичної фізики. Позитивним було те, що після польської реакції двері університету та інших вищих навчальних закладів нарешті відчинились для українців, було відновлено право викладання українською мовою. Однак ейфорія позитивного стану тривала недовго. Незабаром університет заповнила система репресій, обвинувачень у буржуазному націоналізмі, що закінчилась масовими арештами і численними депортаціями на Сибір.

Із приходом 1941 року до Львова німецької влади настав час не менш жорстокої фашистської окупації. Професор Храпливий на той час був у відраженні в Києві, лише за два місяці з великими труднощами йому вдалось повернутись до Львова. Університет не діяв, щоб вижити, З. Храпливий влаштувався редактором у „Видавництві шкільних книжок Львів-Краків”, що мало дуже малі можливості.

Перед новим приходом радянської влади професор Храпливий емігрував на Захід, спочатку до Відня, а згодом – до Мюнхена. У Мюнхені Храпливий деякий час працював надзвичайним професором і керівником кафедри фізики Міжнародного вільного університету, організованого ООН для біженців, згодом – професором фізики в Українському техніко-господарському інституті (УТГІ), що переїхав сюди із Праги. Згодом, 1948 року, З. Храпливому запропонували посаду професора в Католицькому університеті м. Сент-Льюїс у США, куди він переїхав, одружившись із колишньою своєю ученицею Марією Курилець.

На американській землі відбувся новий науковий злет професора. У короткому часі одна за одною з'являються його праці у престижному



журналі „Physical Review”, присвячені побудові наближених релятивістських рівнянь для двох електронів на основі методу Фолді-Вуйтгайзена для частинки в зовнішньому полі. Узагальнення задачі на випадок багатьох частинок актуальне ще і досі.

Професор Храпливий брав участь у багатьох наукових конференціях, був активним дійсним членом американського НТШ, членом Нью-Йоркської Академії наук, членом Американського фізичного товариства, що свідчить про його визнання як світового вченого.

У 1972 році Професор вийшов на пенсію, але далі читав спецкурси для студентів. Знання багатьох мов давало йому змогу займатись перекла-



*Зеновій Храпливий з дружиною,
сином та донькою*

дами. З. Храпливий уклав чотиримовний українсько-англійсько-німецько-французький словник під псевдонімом Лісівецький. Перу Професора належить багато мемуарних спогадів, особливо з юнацьких літ.

Помер Зеновій Храпливий 1 жовтня 1983 року, похований на цвинтарі св. Андрея у Баунд-Бруці – пантеоні визначних українців Америки.

Професор Храпливий разом із дружиною Марією виховали двоє дітей: сина Андрія та доньку Леню. Професор Андрій Храпливий не зовсім пішов слідами свого батька, він – інженер-фізик, провідний фахівець у галузі оптичних хвилеводів, заслужений спеціаліст компанії AT&T Белл-лабораторії у США.

Родина Храпливих – яскравий приклад тих глибоко патріотичних, високоосвічених інтелегентних українських родів, які склали на вітвар українства щедрий дар. Найстарший брат Іван Храпливий (1895–1960), доктор філософії, викладач класичних мов Коломийської гімназії, був репресований; Роман Храпливий, чотар УГА, загинув у вирі визвольних змагань; Євген Храпливий (1898–1949)*, професор сільськогосподарських наук, дійсний член НТШ, багаторічний організатор і директор товариства „Сільський господар” у Галичині, його донька Леся Храплива-Щур є відома сьогодні в діаспорі письменниця і громадська діячка.

Безумовно, родина Храпливих посідає чільне місце в історії і науці України.

Література

1. Храпливий З. Нарис фізики. Підручник для 4-ї кл. гімназії. – Lwów: PWKS, 1938. – 282 с.
2. Chraplywyj Z.W. O ujemnych poziomach energii w teorii Diraca // Acta Phys. Polon. II, 1933. – S. 193–204.
3. Chraplywyj Z.W. O potencjale własnym elektronu w mechanice falowej. // Acta Phys. Polon. II, 1933. – S. 205–214.
4. Храпливий З. Основні поняття електродинаміки і унітарна теорія поля // 36. мат.-прир.-лік. секції НТШ, 1937. – Т. 31. – С. 51–56.
5. Chraplyvy Z.V. Reduction of the Relativistic Two-Particle Equation to Approximate Form. I // Phys. Rev. 1953. 91. – N 2. – P. 386–391.

* Докладніше про Євгена Храпливого читайте у книжці: Злупко С. На чатах рідної землі. Євген Храпливий – учений, організатор, патріот. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 1999. – 284 с.

Умови задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 р.

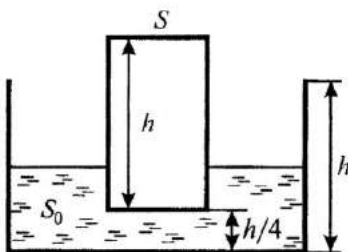
8-й клас

Задача 1.

Два електровози проходять шлях від станції А до станції В, причому один з них першу половину шляху пройшов зі швидкістю $v_1 = 80$ км/год, а другу половину шляху – зі швидкістю $v_2 = 40$ км/год. Другий електровоз першу половину часу рухався зі швидкістю $v_1 = 80$ км/год, а другу половину часу – $v_2 = 40$ км/год. Який з електровозів витратив більше часу і чому дорівнюють середні швидкості електровозів?

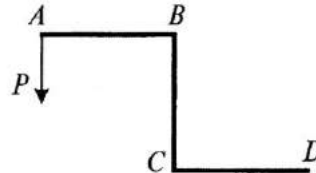
Задача 2.

У склянку, наполовину заповнену рідиною густини ρ , опускають утримуваний у вертикальному положенні циліндр, висота якого дорівнює висоті склянки (див. рис.). Циліндр виявився у рівновазі, коли від його нижнього краю до дна залишилась чверть висоти склянки. Чому дорівнює густина матеріалу циліндра, якщо його переріз S , а переріз склянки S_0 ? Тертя відсутнє.



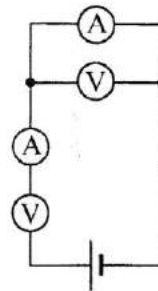
Задача 3.

Важіль зігнуто так, що сторони його AB , BC і CD рівні між собою й утворюють одна з одною прямі кути (див. рис.). Вісь важеля проходить крізь точку B . Перпендикулярно до плеча важеля AB у точці A прикладено силу $P = 10$ Н. Визначіть мінімальне значення сили, яку треба прикласти в точці D , щоб важіль залишався в рівновазі. Масою важеля знехтуйте.



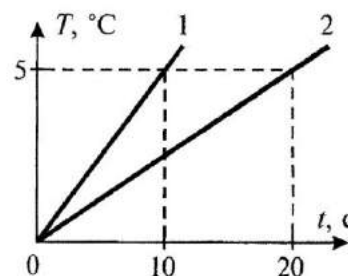
Задача 4.

Схема, яка зображена на рисунку, зібрана з батарейки, двох однакових вольтметрів і двох однакових міліамперметрів. Паралельно з'єднані прилади показують $U = 0,25$ В і $I_1 = 0,75$ мА, другий амперметр показує $I_2 = 1$ мА. Визначіть напругу на клеммах батарейки та опори приладів.



Задача 5.

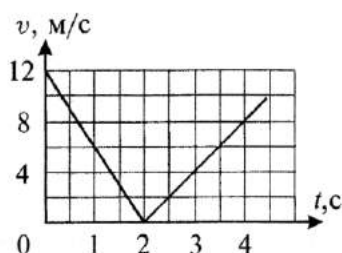
У двох однакових посудинах з малою теплоємністю на однакових нагрівниках нагрівають різні рідини. Графік залежності температури кожної рідини від часу зображено на рисунку. Зобразіть, яким буде графік залежності температури суміші від часу, якщо ці рідини злити в одну посудину та нагрівати на одному з нагрівників? Початкову температуру суміші вважайте 0°C . Якою буде температура суміші через 30 с.



9-й клас

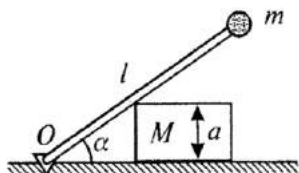
Задача 1.

Після поштовху тіла вздовж похилої площини, воно ковзає по ній, рухаючись спочатку догори, а далі повертається назад до вихідного місця. Графік залежності модуля швидкості тіла від часу зображено на рисунку. Визначіть кут нахилу площини до горизонту.



Задача 2.

На гладкій горизонтальній поверхні лежить брусок масою M і висотою a (див. рис.). На брусок спирається невагома паличка завдовжки l з тілом масою m на кінці. У точці O – шарнір. Визначіть швидкість бруска тоді, коли кут між паличкою і площиною дорівнюватиме α_1 , якщо в початковий момент система перебувала в спокої, і кут дорівнював α_0 .



Задача 3.

У калориметрі була вода температури 10°C . Під час першого досліду туди вкинули 100 г льоду з температурою 0°C , а під час другого – 200 г льоду з температурою 0°C . В обох випадках у калориметрі встановилась одна й та сама температура. Яка і чому?

Задача 4.

Електропроводи від магістралі до споживача зроблені з дроту опором $R_0 = 0,5\text{ Ом}$. Напряга в магістралі постійна і дорівнює $U_0 = 127\text{ В}$. Яка максимально допустима потужність споживаної електроенергії, якщо напруга на увімкнених у мережу приладах не має падати нижче від $U = 120\text{ В}$?

Задача 5.

Побудуйте зображення світної точки, яка лежить на оптичній вісі збірної лінзи.

10-й клас

Задача 1.

Скориставшись уявленнями молекулярно-кінетичної теорії, оцініть тиск і температуру всередині Сонця. Маса Сонця $M_C = 2 \cdot 10^{30}\text{ кг}$, радіус $R_C = 7 \cdot 10^8\text{ м}$. Для спрощення розрахунків вважайте, що Сонце складається з атомарного водню.

Задача 2.

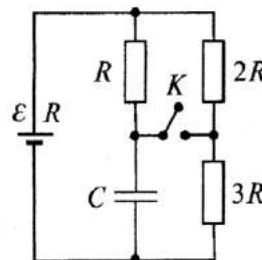
Вода і водяна пара містяться у циліндрі під поршнем при температурі $t_0 = 110^\circ\text{C}$. Вода займає $0,1\%$ об'єму циліндра. Під час повільного ізотермічного збільшення об'єму вода випаровується. Коли вода вся випарувалась, пара виконала роботу $A = 177\text{ Дж}$, а об'єм, який вона займала, збільшився на $\Delta V = 1,25\text{ л}$. Визначіть тиск, за якого виконано дослід. Скільки води й пари було в циліндрі в початковому стані?

Задача 3.

Як зміниться сила притягання між пластинами конденсатора, якщо простір між пластинами заповнити рідким діелектриком з діелектричною проникністю ϵ ?

Задача 4.

Після замикання ключа K (див. рис.) на конденсаторі встановлюється напруга $U_1 = 27\text{ В}$. Визначіть ЕРС джерела струму. Визначіть також напругу U_2 , яка встановиться на конденсаторі після розмикання ключа.



Задача 5.

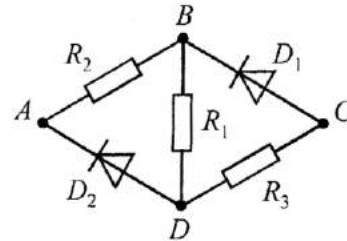
Брусок масою $m_1 = 0,3$ кг лежить на похилій площині, кут при основі якої $\alpha = 30^\circ$. Коефіцієнт тертя бруска по площині дорівнює $\mu = 0,2$. Брусок з'єднаний невагомою і нерозтяжною ниткою, перекинutoю через блок, з вантажем масою m_2 , який висить на нитці. Визначіть прискорення бруска для випадків, коли маса вантажу m_2 дорівнюватиме: 0,05 кг; 0,15 кг; 0,25 кг. За яких значень маси вантажу брусок перебуватиме в спокої?

11-й клас
Задача 1.

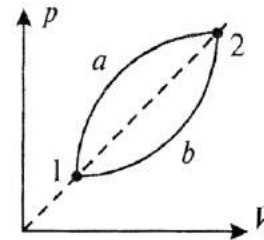
Космічний корабель масою $m = 4$ т рухався навколо Землі по коловій орбіті на висоті $h_1 = 200$ км від її поверхні. Завдяки вмиканню на короткий час Δt ракетного двигуна швидкість космічного корабля зросла на $\Delta v = 10$ м/с, а траєкторія руху стала еліпсом з мінімальним віддаленням від поверхні Землі $h_1 = 200$ км і максимальним віддаленням від поверхні Землі $h_2 = 234$ км. З якою швидкістю v_2 рухається космічний корабель у точці максимального віддалення від поверхні Землі? Чому дорівнюють коефіцієнт корисної дії η та сила тяги F ракетного двигуна, час його роботи Δt , маса витраченого палива Δm ? Зміною маси космічного корабля знехтуйте. Маса Землі та її радіус відповідно дорівнюють $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг і $R = 6370$ км, гравітаційна стала $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ (Н·м²)/кг², витрати палива $\mu = \Delta m / \Delta t = 1$ кг/с, швидкість витікання газів $v = 4 \cdot 10^3$ м/с, питома теплота згоряння палива та окислювача $q = 1,2 \cdot 10^7$ Дж/кг.

Задача 2.

Електричне коло, схема якого зображена на рисунку, під'єднане в точках A і C до міської електромережі змінного струму з напругою $U = 220$ В. Вважаючи діоди D_1 і D_2 ідеальними, знайдіть середню потужність, яка виділяється на резисторі R_1 , якщо $R_1 = 20$ кОм, $R_2 = R_3 = 5$ кОм


Задача 3.

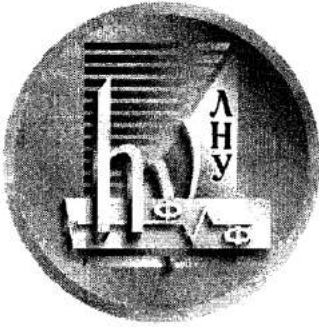
Як робоче тіло в тепловій машині використовується постійна маса ідеального одноатомного газу, зміна стану якого зображена на pV -діаграмі (див. рис.). За умови відповідного вибору масштабів по осях цієї діаграми цикл зображено двома чвертями кіл, причому точки перетину дуг 1 і 2 лежать на бісектрисі кута, утвореного осями діаграми. Визначіть ККД циклу, якщо відношення максимального й мінімального об'ємів газу в цьому циклі $n = 3$.


Задача 4.

Дві дротини, виготовлені з матеріалу з малим температурним коефіцієнтом опору, під'єднують до акумулятора з мізерно малим внутрішнім опором один раз паралельно, а другий – послідовно. При першому під'єднанні швидкість дрейфу носіїв заряду в дротинах виявилась однаковою, а в другому випадку в першій дротині вона зменшилась у $k = 5$ разів порівняно з попереднім випадком. Знайдіть відношення діаметрів дротин.

Задача 5.

На поверхні Землі годинник з маятником йде точно. У якому випадку і на скільки більше цей годинник відстане за добу, якщо його підняти на висоту 200 м над Землею або ж опустити в шахту на глибину 200 м? Радіус Землі 6370 км.



ФІЗИЧНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ – 50 РОКІВ

Ананій Крочук, Петро Якібчук,
*професори Львівського національного
університету імені Івана Франка*

Фізичний факультет Львівського державного університету імені Івана Франка утворено у травні 1953 р., поділивши фізико-математичний факультет на фізичний і механіко-математичний. Зростання кількості студентів-фізиків створило умови для розширення наукової роботи кафедр, а згодом – для відкриття аспірантури на фізичному факультеті. Перший набір до аспірантури відбувся 1950 р., а вже в лютому 1954 р. відбувся перший захист дисертацій на фізичному факультеті (М.Т. Сеньків, І.І. Тальянський).

На фізичному факультеті 1953 р. було чотири кафедри: теоретичної фізики (заснована 1872 р.), експериментальної фізики (заснована 1872 р.), загальної фізики (заснована 1945 р. на базі кафедри експериментальної фізики) та кафедра вищої математики. Кафедрою теоретичної фізики завідував доц. В.С. Міліянчук, кафедрою експериментальної фізики – ст. викл. Л.К. Клімовська, кафедрою загальної фізики – доц. С.П. Литвиненко, а кафедру вищої математики очолював проф. М.О. Зарицький.

Першим деканом фізичного факультету 1953 р. був доцент кафедри теоретичної фізики А.Ю. Глауберман. У 1954–1960 рр. формуються основні напрями досліджень на факультеті: статистична фізика, оптика твердих тіл, фізика напівпровідників, фізика рідкого стану, фізична електроніка, спектроскопія атомів і молекул. Започатковано дві проблемні лабораторії, які спеціалізувалися на вирощуванні та дослідженні люмінесцентних властивостей кристалів NaI(Tl), виготовленні приймачів жорсткої радіації. Такі приймачі потрібні були для пошуку радіоактивних руд у важкодоступних місцях та на великих територіях Ці роботи велися під керівництвом А.Ю. Глаубермана, а першими виконавцями були Б.О. Белікович, Ф. М. Алемайкін, трохи згодом О.Б. Лискович.

Формуються також групи оптичної спектроскопії (Л. К. Клімовська, В. Н. Вишневський, М. О. Романюк), перезарядки йонів (Б. М. Палюх, Р. М. Кушнір), генерації нейтронів та нейтронного каротажу нафтових свердловин (Я. М. Захарко), рентгеноструктурних досліджень (В. П. Цветков, А. Ф. Цветкова, згодом Я. Й. Дутчак, Я. М. Захарко). Цими роботами керували професори В. С. Міліянчук і А. Ю. Глауберман.

Теоретичне навчання переважно проводили у корпусі на вул. Грушевського, 4, а лабораторні (роботи) виконували в корпусі на вул. Ломоносова, 8 (нині вул. Кирила і Мефодія, 8). Згодом увесь навчальний процес був зосереджений у корпусі на вул. Ломоносова, 8, де раніше були мінералогічний музей та аудиторії геологічного факультету. У 1960-ті роки факультет стрімко зростав, розширювалися його площі. За факультетом закріпили корпус на вул. Драгоманова, 19, другий та третій поверхи корпусу на вул. Січових Стрільців, 14, факультет збудував корпус на вул. Драгоманова, 50.

Під керівництвом проф. В. С. Міліянчука кандидатські дисертації захистили М.Т. Сеньків, І.І. Тальянський, Р.П. Гайда; під керівництвом А.Ю. Глаубермана – І.Р. Юхновський, В.П. Цветков, О.М. Музичук; 1957 року захистили докторські дисертації В.С. Міліянчук, А.Ю. Глауберман, С.А. Каплан.

Про зростання та зміцнення на факультеті свідчать такі цифри. Якщо 1953 р. було 17 випускників, то 1973 р. вже – 178, 1993 р. – 247 студентів денної форми навчання. На факультеті 1953 р. працювало 14 викладачів, 1963 р. – 36, 2003 р. – 19 професорів і 50 доцентів. Факультет має зв'язки з провідними університетами країни, а також науково-дослідними інститутами. На фізичному факультеті читали лекції такі відомі вчені: Д.М. Зубарев (Москва), Ю.Л. Кліментович (Москва), П.Г. Ситенко (Київ), Я.І. Френкель (Ленінград). Студенти факультету проходили практику в про-



відних інститутах, а випускники могли навчатися в аспірантурі. У 1960-х рр. до аспірантури Інституту кристалографії АН СРСР (Москва) було скеровано М.О. Романюка і О.Г. Влоха, а до Інституту фізики АН УРСР (Київ) – Я.О. Довгого і А.С. Крочука. Науковці фізичного факультету брали активну участь у роботі багатьох всесоюзних і республіканських нарад та конференцій зі спектроскопії, фізики напівпровідників і діелектриків, теорії твердого тіла, люмінесценції, фізики рідкого стану, теорії поля, рентгенографії. Фізичний факультет разом з АН СРСР та АН УРСР був організатором декількох наукових конференцій у Львові: 1956 р. – десята Всесоюзна нарада зі спектроскопії, 1959 р. – третя Всесоюзна нарада з теорії напівпровідників тощо.

Ці досягнення були пов'язані передусім з роботою декана фізичного факультету Михайла Теодоровича Сеньківа, який очолював факультет із серпня 1957 р. до лютого 1971 р. Він прийшов на заміну доц. Д.П. Решетюкові, який очолював факультет менше року після А.Ю. Глаубермана. Декан М.Т. Сеньків володів добрими організаторськими здібностями, любив порядок в організації навчальної, виховної і наукової роботи. Вагомий внесок зробив М.Т. Сеньків у будівництво корпусу на вул. Драгоманова 50, у написання підручників українською мовою (А.Ю. Глауберман, М.Т. Сеньків, Р.П. Гайда).

Кафедру фізики твердого тіла створено 1958 р. (зав. кафедри – проф. А.Ю. Глауберман). За цією кафедрою були закріплені лабораторії рентгеноструктурного аналізу та металознавства (Я.Й. Дутчак, Я.М. Захарко, О.Г. Миколайчук), лабораторія росту і дослідження фізичних властивостей кристалів (О.Б. Лискович, Б.О. Белікович) і лабораторія фізики напівпровідників (М.В. Пашковський, М.О. Цаль).

З кафедри фізики твердого тіла 1963 р. виокремилась кафедра рентгеноструктурного аналізу і фізики металів (зав. кафедри – проф. Я.Й. Дутчак), з 1964 р. – кафедра рентгенометалофізики, з 1999 р. – кафедра фізики металів. Кафедру рентгенометалофізики заснували з ініціативи Я.Й. Дутчака, який очолював її 25 років. Відкриття кафедри було зумовлене потребою підготовки фахівців з фізики металів, пов'язане з розвитком енергетики і машинобудування в Західній Україні.

Науково-дослідні інститути радіоелектронного та приладобудівного профілю потребували фахівців у галузі напівпровідникового матеріалознавства. Кафедра фізики твердого тіла 1964 р. розділилась на кафедру теорії твердого тіла (зав. кафедри – проф. А.Ю. Глауберман до 1966 р.) і кафедру фізики напівпровідників, яку очолив доцент М.В. Пашковський. Наприкінці 1950-х рр. сформувався самостійний напрям – синтез і комплексне дослідження електрофізичних властивостей напівпровідникових матеріалів типу A_2B_6 , переважно сірчистої ртуті (М.В. Пашковський, І.В. Савицький, Р.В. Луців, Б.Ф. Біленький).

До 1964 р. на факультеті була лише одна спеціальність – „Фізика”, з 1964 р. факультет готує студентів за спеціальністю „Радіофізика і електроніка”, а згодом і „Оптичні прилади та спектроскопія”. На факультеті студенти набувають таких спеціалізацій: оптика та спектроскопія, оптичні квантові генератори і нелінійна оптика, фізика напівпровідників, електрофізика, квантова радіофізика, теорія коливань і автоматичного регулювання.

На факультеті 1964 р. було створено кафедру теоретичних основ електро- і радіотехніки, завідувачем якої став ректор університету проф. М.Г. Максимович. Згодом кафедру очолювали проф. Л.А. Синицький (1981–1991), проф. П.Г. Стахів (1991–1996), а з 1998 р. кафедрою завідує проф. І.М. Болеста, її перейменовано на кафедру радіофізики. З 1958 до 1966 р. на факультеті працював заочний відділ, на якому готували переважно педагогів. У 1959–1979 рр. проводилось навчання на вечірньому відділенні за спеціальностями „Фізика” та „Радіофізика і електроніка”.

Деканами факультету у 1971–1990 рр. були викладачі кафедри експериментальної фізики: доц. М.О. Романюк (1971–1974), доц. В.Н. Вишневський (1974–1977), доц. А.С. Крочук (1977–1990). За цих двадцять років фізичний факультет став найбільшим факультетом в Університеті, здобув авторитет серед фізичних факультетів університетів України.

Цей період характерний помітним активним зростанням наукової тематики, особливо господарської, підвищенням кваліфікації викладачів (докторів та кандидатів наук), збільшенням кафедр і спеціалізацій, а також удосконаленням матеріальної бази і поліпшенням підготовки моло-



дих фахівців, наближенням підготовки фахівців до потреб виробництва.

На базі фізичного і хімічного факультетів та Львівського науково-дослідного інституту матеріалів 1977 р. було створено кафедру радіоелектронного матеріалознавства. Це була одна з перших кафедр в Україні, де поєднували загальну й теоретичну підготовку студентів в Університеті з науково-дослідною роботою та фаховою підготовкою в умовах базового підприємства. Цією кафедрою завідували: проф. О.І. Зюбрик (1977–1983), проф. В.Г. Савицький (1984–1987), доц. Ю.М. Гаврилюк (1988–1990), заступник директора ВО „Карат” М.С. Веремейчук (1992–1996). Двадцять років справами кафедри плідно займався доц. І.В. Савицький. З березня 1997 р. кафедру очолив проф. Р.В. Луців.

На базі кафедри експериментальної фізики 1979 р. було створено кафедру нелінійної оптики. Цьому сприяло розгортання науково-дослідних робіт з параметричної кристалооптики та нелінійних оптичних явищ у кристалах, зокрема ресстрація відкриття явища електрогірації в кристалах (1979 р., доц. О.Г. Влох та проф. І.С. Жолудев з Інституту кристалографії АН СРСР). Першим завідувачем кафедри 1981 р. став проф. О.Г. Влох.

До навчального процесу на кафедрах залучали провідних фахівців Львівських науково-дослідних установ. Курсові та дипломні роботи студенти виконували на підприємствах, там також проходили практику. Випускники факультету, які здебільшого йшли працювати на ці підприємства, від самого початку долучались до наукової роботи цих установ. У ті роки викладачі факультету інтенсивно розробляли нові курси і спецкурси, організовували та вдосконалювали лабораторні практикуми, видавали навчальні посібники.

Для тіснішої співпраці факультету з підприємствами було створено декілька філіалів кафедр. Кафедра експериментальної фізики створила філіал на ВО „Полярон” (м. Львів), кафедра фізики напівпровідників – на Івано-Франківському ВО „Родон”, кафедра радіоелектронного матеріалознавства – на ВО „Карат” (м. Львів), кафедра теоретичної фізики – в Інституті конденсованого стану АН УРСР (м. Львів).

Створення цих філіалів свідчить про те, що у 1980-ті роки фізичний факультет підтримував

тісні контакти з виробництвом не лише для виконання госпдоговірних робіт, а й у навчальному плані. Наші студенти мали широку мережу практик, а випускники – пропозиції щодо майбутньої роботи. На факультеті часто започатковували такі спецкурси на кафедрах, які б відповідали профілеві того чи іншого підприємства. Загальна висока підготовка фізиків не зменшувалась, наші випускники завжди мали добру репутацію, де б вони не працювали. Фундаментальна підготовка на фізичному факультеті завжди була на належному рівні. Виховання студентів було патріотичним. Викладання майже всіх предметів на факультеті велось українською мовою. На факультеті випускали стінні газети, які за своєю якістю не поступались газетам філологічного факультету і перемогли у відповідних конкурсах. Редакторами газет були студенти факультету: Я.О. Довгий, Я.М. Захарко, О.М. Попель.

Успіхи у виконанні госпдоговірної тематики, яка мала прикладний характер і певну специфіку, зростання важливості практичних напрацювань сприяли створенню на фізичному факультеті спеціального конструкторсько-технічного бюро „Модулятор” (1982–1985). У 1986 р. СКТБ було реорганізовано, воно змінило профіль своєї основної роботи й одержало назву „Магنون”. Туди увійшло шість лабораторій, сформованих з науково-дослідних груп різних кафедр факультету. Науковим керівником СКТБ „Магنون” став проф. В.Г. Савицький. Згодом 1991 р. „Магنون” було реформовано та перейменовано в Інститут прикладної фізики. Фінансування Інституту здійснювали переважно коштами госпдоговірних тем. Інститут мав істотні успіхи, однак згортання госпдоговірної тематики призвело до реорганізації ІПФ 1999 р. і закріплення лабораторій ІПФ за кафедрами фізичного факультету.

На факультеті була художня самодіяльність: хор, вокально-інструментальний ансамбль, танцювальна група, солісти, декламатори. Гумор завжди був присутній на фізичному факультеті. Вечори відпочинку збирали повні зали глядачів. Особливо популярними були „Дні фізика”, які у 1978–1990 рр. відбувались щорічно. Популярність цього свята була настільки висока, що деколи збирались глядачі з усього міста. Треба зазначити, що ці вечори готували самі студенти, хоча



залучали до них і викладачів, і працівників факультету. У них брали активну участь викладачі: Б.Т. Бабій, Я.Й. Дутчак, Я.М. Захарко, І.О. Вакарчук, М.Т. Сеньків, А.С. Крочук, Й.В. Кавич, Р.В. Луців, П.М. Якібчук, В.Г. Синюшко, І.М. Болеста, Л.А. Костюк та ін.

Організаторами цих вечорів були активні студенти, які відмінно навчалися. (Орест Дзендзельюк, Роман Шувар, Любов Вітковська, Наталя Залуцька, Ірина Робак та ін.). Студенти фізичного факультету брали активну участь й у гуртках художньої самодіяльності Університету.

Викладачі факультету активно долучались до суспільного життя. Варто нагадати, що 1989 р. депутатом Верховної Ради СРСР було обрано проф. І.О. Вакарчука, згодом депутатами Верховної Ради України стали проф. О.Г. Влох, проф. І.Р. Юхновський, випускники фізичного факультету І.Б. Коліушко, І.С. Носалик, І.І. Макар, Ю.Б. Ключковський та ін.

Наприкінці 1980-х рр. на фізичному факультеті було створено Товариство української мови, відновило роботу Наукове товариство імені Шевченка. На факультеті створили Західноукраїнське фізичне товариство, яке згодом увійшло до Українського фізичного товариства. Очолювали Західноукраїнське товариство професори Й.М. Стахіра та І.О. Вакарчук. Нині І.О. Вакарчук очолює Українське фізичне товариство. За ініціативи правління Західноукраїнського фізичного товариства у Львові з 1996 р. почав виходити „Журнал фізичних досліджень”, головним редактором якого є професор І.О. Вакарчук.

У 1984 р. посаду завідувача кафедрою теоретичної фізики обійняв випускник фізичного факультету, доктор фізико-математичних наук Іван Олександрович Вакарчук, який до того працював завідувачем відділу Львівського відділення інституту теоретичної фізики АН України. Кафедра теоретичної фізики перейшла в приміщення на вул. Драгоманова 12. Сьогодні в цьому корпусі, крім кафедри, розміщена факультетська бібліотека, аудиторії і редколегія журналу „Журнал фізичних досліджень”. На факультеті видають „Вісник Львівського університету” (серія фізична), де публікують наукові праці працівники, аспіранти і студенти факультету. Вагомий внесок у цю важливу справу вніс проф. Богдан Филимо-

нович Біленький, який тривалий час був відповідальним редактором Вісника.

Посаду декана фізичного факультету 1990 р. обійняв проф. Л.І. Іванків, з 1995 – проф. Й.М. Стахіра, 1990 – проф. І.О. Вакарчука було обрано ректором Університету. Це був період становлення України як незалежної держави, період істотних змін і в університетській освіті. За 11 років незалежності України Університет зміцнив свої позиції і 2000 р. здобув статус національного. У цьому велика заслуга ректора університету проф. І.О. Вакарчука, який особистим прикладом впливає на дисципліну і наукову активність професорсько-викладацького складу Університету загалом і фізичного факультету, зокрема. Незважаючи на велику завантаженість обов'язками ректора, І.О. Вакарчук велику увагу приділяє фаховій підготовці студентів. Він за декілька останніх років написав підручники для студентів фізичних факультетів: „Квантова механіка” (1998), „Вступ до проблеми багатьох тіл” (1999), „Теорія зоряних спектрів” (2002). За підручник „Квантова механіка” Іван Вакарчук 2000 р. одержав Державну премію України. За наукові праці в галузі фізики 2001 р. Державною премією з науки і техніки України було нагороджено завідувача кафедри фізики напівпровідників проф. Й.М. Стахіру.

Державними преміями відзначено наукові досягнення проф. Я.Й. Дутчака, В.А. (1983), Р.В. Луціва, Є.М. Левіна (1984), М.В. Пашковського, В.Г. Савицького (1986). Дбають про забезпечення студентів літературою й інші викладачі. Зокрема вийшли з друку такі підручники: „Кристалоптика” (проф. М.О. Романюк), „Фізика твердого тіла” (проф. І.М. Болеста), „Молекулярна фізика” (доц. М.М. Клим та проф. П.М. Якібчук).

На фізичному факультеті успішно працює аспірантура і докторантура. Завдяки ініціативі ректора на фізичному факультеті поліпшилась матеріальна база обчислювальної техніки. На кожній кафедрі є обчислювальні класи, всі лабораторії обладнано комп'ютерами. Постійно працює спеціалізована рада із захисту дисертацій. Головами спеціалізованої ради в різний час були А.Ю. Глауберман, І.Р. Юхновський, Я.Й. Дутчак, А.С. Крочук, І.О. Вакарчук. Майже тридцять працівників факультету стали докторами наук: Я.Й. Дутчак, М.В. Пашковський, Л.А. Синиць-



кий, М.О. Романюк, В.Г. Савицький, О.Г. Влох, Л.Ф. Блажиевський, Я.О. Довгий, О.Б. Лискович, М.О. Цаль, О.І. Зюбрик, Й.М. Стахіра, З.М. Стасюк, І.І. Половинко, Л.І. Іванків, П.Г. Стахів, Я.М. Матвійчук, З.М. Яремко, А.Є. Носенко, І.В. Кітик, А.В. Кітик, А.С. Волошиновський, П.М. Якібчук, І.Д. Щерба, І.М. Болеста, С.І. Мудрий, Б.В. Павлик, В.Д. Бондар, Є.М. Левін, І.І. Тальянський, Б.В. Андрієвський, В.Л. Прохоренко, М.Д. Катерлін.

Серед випускників фізичного факультету є академіки і член-кореспонденти, керівники вищих навчальних закладів і наукових установ, зокрема, І.Р. Юхновський, Ю.С. Фрадкін, М.С. Бродин, І.В. Стасюк, З.Д. Назарчук, М.Ф. Головка, Ю.К. Рудавський, М.М. Ваків, О.Г. Влох та ін.

В останньому десятиріччі наукові дослідження проводяться з багатьма науковими установами іноземних країн, щорічно на факультеті відбуваються міжнародні наукові конференції з певних питань фізики. Наші науковці беруть участь у міжнародних конференціях в інших країнах, де виступають з доповідями; у наукових лабораторіях інших країн проводять фізичні експерименти (А.С. Волошиновський, І.Д. Щерба, М.В. Котерлін). Науковці друкують свої праці в іноземних журналах.

Хоча в 1990-ті роки істотно скоротилась господарська тематика та окремі підрозділи Університету реорганізовано, але наукові дослідження на факультеті проводяться на новому рівні.

З'явилися нові спеціальності (фізика твердого тіла, астрономія, фізична електроніка) і спеціалізації, 1996 р. відкрито кафедру астрофізики.

Уже 2002 р. на базі кафедри фізики напівпровідників відкрито кафедру електроніки, яку очолив проф. Б.В. Павлик.

Активізувала свою роботу кріогенна лабораторія, яка була відкрита ще 1973 р., а 2002 р. її реорганізовано в науково-технічний центр низькотемпературних досліджень.

На фізичний факультет завжди йшли навчатися найкращі випускники середніх шкіл. На жаль, останні 15 років рівень знань школярів знизився. Щоб запросити на навчання на фізичний факультет обдарованих школярів, ми постійно працюємо з ними. На факультеті відбуваються обласні олімпіади з фізики; викладачі допомагають проводити районні олімпіади з фізики. Велику допомогу надає Львівський фізико-математичний лицей при Львівському національному університеті імені Івана Франка, який створений десять років тому з ініціативи фізичного та механіко-математичного факультетів Університету. Випускники лицюю – найкращі студентами факультету, аспіранти та викладачі. Важливою є й Мала академія наук, випускники якої згодом стають добрими студентами та аспірантами.

Фізичний факультет став могутнім науково-педагогічним колективом в Університеті. Спектр наукових досліджень досить широкий, маємо багато фізичних спеціальностей. Тому Вчена рада фізичного факультету ухвалила рішення про поділ факультету на фізичний факультет і факультет електроніки. Цю пропозицію 26.02.2003 р. схвалила Вчена рада Університету. Наказом ректора № 457 від 07.03.2003 р. в Університеті створено факультет електроніки.



Колектив викладачів фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка (Львів, 2003 року)



XII Всеукраїнський турнір юних фізиків

XII Всеукраїнський турнір юних фізиків відбувся 24–29 лютого 2004 року в м. Одесі. В турнірі брали участь команди: Київської ЗОШ № 3, Українського фізико-математичного ліцею, МАН м. Луцька, збірна м. Луганська, Харківського фізико-математичного ліцею № 27, Харківської гімназії № 45, Болградської гімназії, ліцею „Приморський” м. Одеси, збірна м. Севастополя, навчально-виховного комплексу



Дискусію ведуть члени журі О. Орлянський, О. Шевчук, В. Кулінський, Л. Засєдка

№ 10 м. Суми, збірна м. Севастополя, Рішельєвського ліцею, Гуманітарного центру м. Одеси.

Команди Харківського фізико-математичного ліцею № 27, збірної м. Севастополя та Рішельєвського ліцею вибороли право брати участь у фіналі турніру. Переможцем турніру стала збірна Севастополя, яка показала високий рівень підготовки та глибоке розуміння фізичних проблем. В цьому є чимала заслуга керівника команди Заслуженого вчителя України Івана Івановича Казачека.



Збірна школярів м. Севастополя

ФОНТАНЧИК

Задача „Фонтанчик” була запропонована учасникам XII Всеукраїнського турніру юних фізиків.

У шкільному лабораторному обладнанні є трубка, яка з одного кінця має вузький отвір. Якщо в цю трубку набрати деяку кількість гарячої води і різко перевернути її, попередньо закривши пальцем її широку частину, вузьким отвором догори, тоді з неї „битиме” фонтан. Як і від чого залежить висота й тривалість існування фонтана?

Щоб відповісти на сформульовану в задачі проблему, визначимо спочатку швидкість вильоту краплини з вузького отвору трубки. Далі, знаючи цю швидкість, знайдемо висоту, на яку піднімуться краплі фонтана.

Якщо виконати рекомендації, подані в умові задачі, то завдяки нагріванню повітря в пробірці (воно отримуватиме енергію від гарячої води), а також через зростання парціального тиску водяної пари в цьому ж повітрі, тиск, який діятиме з боку повітря і водяної пари на воду, зростатиме. Завдяки цьому і спостерігатиметься явище, описане в умові задачі. Загалом, процеси, що відбуватимуться під час такого досліду, будуть нестационарними. Їх складно розрахувати ще й тому, що пот-

рібно розрахувати теплопровідність на межі двох фаз і встановити швидкість випаровування.

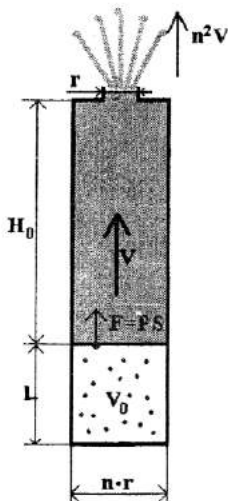
Тому розглянемо простішу модель явища.

Нехай суміш газів у трубці спочатку перейде в деякий стаціонарний стан, який характеризуватиметься початковим тиском, об’ємом і температурою. Також вважатимемо рідину нестисловою, а процес розширення газової суміші під час витікання рідини адіабатичним.

Розглянемо деякий момент часу t , коли швидкість руху води в трубці дорівнює V . Нехай у цей момент часу нижня межа води вже піднялась на деяку віддаль x . Розглянемо, які перетворення енергії відбуватимуться в нашій системі.



1. Робота сили тиску.



Врахуймо, що повітря в трубі нагрілось до температури води і відповідно тиск його збільшився:

$$dA = FVdt,$$

$$F = \Delta P \times S = (P - P_A)S,$$

$$P_0 V_0^\gamma = P V^\gamma \Rightarrow P = P_0 \left(\frac{V_0}{V} \right)^\gamma,$$

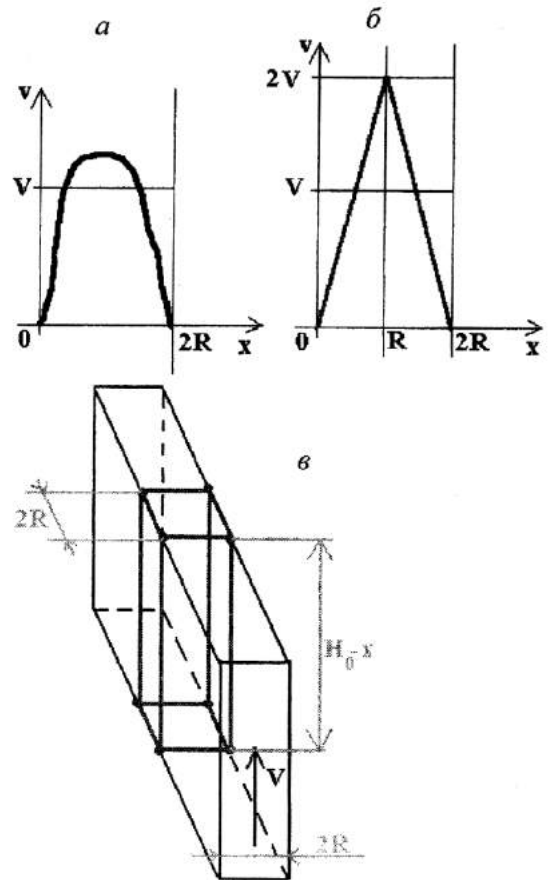
де V – швидкість руху води в трубі.

$$dA = \left[P_A \frac{T_{\text{води}}}{T_0} \left(\frac{L}{L+x} \right)^{\gamma_1} + P_T \left(\frac{L}{L+x} \right)^{\gamma_2} - P_A \right] S V dt.$$

2. Збільшення потенціальної енергії води:

$$dW_n = \mu dt (H_0 - x)g,$$

де $\mu = \rho S V$ – витрата води.



3. Збільшення кінетичної енергії води:

а) розгін у трубі:

$$dW_k = m \frac{(V + dV)^2 - V^2}{2} = m V dV = (H_0 - x) S \rho V dV,$$

$$dW_k = (H_0 - x) S \rho V dV.$$

б) розгін у „капілярі”:

$$dW_k = dm \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \mu dt \frac{V_1^2 n^4 - V_1^2}{2},$$

де n – відношення радіусів трубки та „капіляра”. Далі знехтуємо у чисельнику меншим доданком й одержимо:

$$dW_k = \mu dt \frac{V^2 n^4}{2}.$$

4. В'язке тертя у воді.

Запишімо рівняння Ньютона для в'язкої рідини:

$$F = \eta S \frac{\Delta V}{\Delta x}.$$

Для спрощення замінімо трубу двома паралельними площинами, розташованими на віддалі $2R$ одна від одної, і нехай між ними тече рідина із



середньою швидкістю V . Враховуючи явище приєднаної маси, можна стверджувати, що залежність швидкості води від віддалі від стінок трубки матиме вигляд, зображений на рисунку (див. рис. а). Однак, на знаючи аналітичного виразу вказаної кривої, апроксимуємо її лінійною залежністю, яка зображена на рисунку б. Вона матиме максимум у точці з координатою $x = R$, і дорівнює $V_0 = 2V$, оскільки загальний потік води має мати середню швидкість V . Тоді одержимо:

$$\frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{2V}{R} = \frac{2V}{R}$$

Для оцінки площі виділимо між двома площинами прямокутний паралелепіпед. Із рисунка в видно, що для використаних наближень площу можна обчислити так:

$$S = 2R \times (H_0 - x).$$

Отже, вираз для сили в'язкого тертя матиме вигляд:

$$F_{\text{в}} = \eta \cdot 2R(H_0 - x) \cdot \frac{2V}{R} = 4(H_0 - x)V\eta.$$

Знайдемо роботу сили в'язкого тертя:

$$dA_{\text{в}} = F_{\text{в}} \cdot V \cdot dt,$$

підставивши замість V середню швидкість води, одержимо:

$$dA_{\text{в}} = 4(H_0 - x)V^2\eta dt.$$

5. Поверхневий натяг.

Вважаючи, що радіус крапель фонтана дорівнює радіусові капіляра, одержимо:

$$K = \frac{V}{V_0} = \frac{SV\Delta t}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{\pi n^2 r^2 V\Delta t}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3n^2 V\Delta t}{4r},$$

де K – кількість крапель, які вилітають з капіляра за проміжок часу Δt . Утворення поверхні цих крапель збільшує потенціальну енергію системи:

$$W = K \cdot \sigma \cdot S = \frac{3\sigma n^2 V\Delta t \cdot 4\pi r^2}{4r},$$

або, переходячи до нескінченно малого проміжку часу

$$dW = 3\pi r\sigma n^2 V dt.$$

За законом збереження енергії:

$$\sum dA = \sum dW_i.$$

Звідси знайдемо прискорення води:

$$a = \frac{\left[P_A \frac{T_{\text{води}}}{T_0} \left(\frac{L}{L+x} \right)^{\gamma_1} + P_T \left(\frac{L}{L+x} \right)^{\gamma_2} - P_A \right]}{(H_0 - x)\rho} - \frac{\frac{\rho V^2 n^4}{2} - (H_0 - x)\rho g - \frac{4\eta(H_0 - x)V}{S} - \frac{3\pi n^2 r\sigma}{S}}{(H_0 - x)\rho}.$$

Із умови $a = 0$ знайдемо швидкість вильоту краплі. Далі дослідимо політ краплі, щоб встановити висоту її підйому та час існування фонтана. Рух краплі в повітрі буде турбулентним, якщо

$$Re \gg 1, \text{ де } Re = \frac{\rho v l}{\eta}.$$

Виражаючи в'язкість повітря як

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \nu_T \lambda$$

і підставивши

$$\nu_T = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \approx 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad \lambda = 2 \cdot 10^{-5} \text{ см} \quad \text{і} \quad \rho = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

одержимо $\eta = 5 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Підставивши $v \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $l \approx 2 \text{ мм}$, одержимо $Re \approx 500$, що набагато більше від 1.

Отже, рух краплі – турбулентний і на неї під час її польоту діятимуть дві сили – $F = mg$ (сила тяжіння) і $F = \alpha v^2$, $\alpha = \frac{c}{2} \rho S$.

Тоді отримаємо диференціальне рівняння

$$\frac{dv}{dt} = -g - \frac{\alpha v^2}{m}.$$



Щоб розв'язати його аналітично, зробимо заміну

змінних $\beta = \frac{\alpha}{m}$, тоді:

$$dt = -\frac{dv}{g + \beta v^2}$$

$$t = -\int_{v_0}^v \frac{dv}{g + \beta v^2} = -\frac{1}{\beta} \int_{v_0}^v \frac{dv}{\frac{g}{\beta} + v^2}.$$



г (мале)	V (у трубці)	t (час життя)	v (краплі)	Висота підйому
4 мм	1.0 м/с	0.15 с	4.0 м/с	0.7 м
4 мм	0.7 м/с	0.2 с	6.3 м/с	1.2 м
4 мм	0.5 м/с	0.35 с	8.0 м/с	1.6 м
4 мм	0.4 м/с	0.5 с	10 м/с	2.7 м
4 мм	0.2 м/с	0.8 с	7.2 м/с	1.4 м
1 мм	0.1 м/с	Майже 3 с	10 м/с	Немає даних

Позначивши $\gamma = \sqrt{\frac{g}{\beta}}$, одержимо:

$$t = -\frac{1}{\beta} \int_{v_0}^v \frac{dv}{\gamma^2 + v^2} = -\frac{1}{\beta \gamma} \operatorname{arctg} \frac{v}{\gamma} \Big|_{v_0}^v =$$

$$= -\frac{1}{\beta \gamma} \left(\operatorname{arctg} \frac{v}{\gamma} - \operatorname{arctg} \frac{v_0}{\gamma} \right) \Rightarrow$$

$$v = \gamma \operatorname{tg} \left(\operatorname{arctg} \frac{v_0}{\gamma} - \beta \gamma t \right),$$

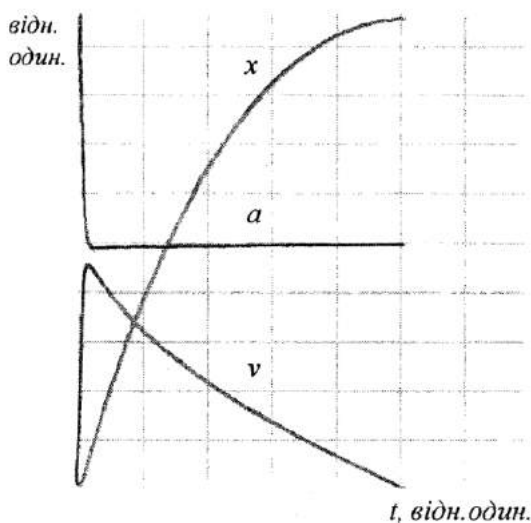
$$v = \gamma \frac{\frac{v_0}{\gamma} - \operatorname{tg}(\beta \gamma t)}{1 + \frac{v_0}{\gamma} \operatorname{tg}(\beta \gamma t)}.$$

Спростивши і ввівши константи, одержимо

$$v(t) = \frac{A}{B + \operatorname{tg}(Ct)} - D,$$

де $A = \gamma(1 + \frac{\gamma^2}{v_0^2})$, $B = \frac{\gamma}{v_0}$, $C = \beta \gamma$, $D = \frac{\gamma^2}{v_0}$;

$$\alpha = \frac{c}{2} \rho S, \quad \beta = \frac{\alpha}{m}, \quad \gamma = \sqrt{\frac{g}{\beta}}.$$



Далі, проінтегрувавши повторно, одержимо

$$H = \int_0^t v \cdot dt = \int_0^t \left(\frac{A}{B + \operatorname{tg}(Ct)} - D \right) dt =$$

$$= A \int_0^t \frac{dt}{B + \operatorname{tg}(Ct)} - Dt.$$

Це табличний інтеграл, який можна знайти у довідниках з математики. Одержимо

$$H = \frac{A}{C} \left(\frac{1}{1-B} \left[\ln \left(\frac{\operatorname{tg}(Ct) + B}{B} \right) - \frac{1}{2} \ln(\operatorname{tg}^2 Ct + 1) \right] \right) -$$

$$- \frac{A}{C} \left(\frac{1}{1-B} [B \times \operatorname{arctg}\{\operatorname{tg}(Ct)\}] \right) - Dt =$$

$$= \frac{A}{C} \cdot \frac{1}{1-B} \left(\ln \left[1 + \frac{\operatorname{tg}(Ct)}{B} \right] - \frac{1}{2} \ln(\operatorname{tg}^2 Ct + 1) - BCt \right) -$$

$$- Dt = \frac{A}{C(1-B)} \left(\ln \frac{B + \operatorname{tg}(Ct)}{B \sqrt{\operatorname{tg}^2 Ct + 1}} - BCt \right) - Dt.$$

Момент часу, коли крапля піднялася на максимальну висоту, знайдемо із рівняння $t(v)$, припустивши, що $v = 0$.

$$t = \frac{\operatorname{arctg} \frac{A - BD}{D}}{C}.$$

Підставляючи це у вираз для H , одержимо максимальну висоту підйому. Оскільки аналітичний вираз дуже громіздкий, то висоту підйому ми обчислювали численно.

Отже, запропонований метод дає змогу знайти максимальну швидкість вильоту крапель і час існування фонтана, а за швидкістю вильоту крапель ми можемо знайти висоту підйому струменя фонтана. Обчислення, виконані цим методом, за програмою, написаною на мові Pascal, дають такі результати (див. рис. і табл.).

Олександр Фрей,

учень 11-го класу середньої школи
м. Севастополя

Розв'язки задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2004 р.

(Умови задач III (обласного) етапу Всеукраїнської олімпіади
з фізики 2004 року дивіться на стор. 30–32)

8-й клас

Задача 1.

Середня швидкість руху першого електровоза:

$$v_{c1} = \frac{S}{\frac{S}{2v_1} + \frac{S}{2v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1+v_2} \approx 53,3 \text{ км/год,}$$

другого електровоза:

$$v_{c2} = \frac{v_1 \frac{t}{2} + v_2 \frac{t}{2}}{t} = \frac{v_1+v_2}{2} = 60 \text{ км/год,}$$

де S – відстань від A до B , а t – загальний час руху другого електровоза.

Отже, другий електровоз подолає відстань AB швидше.

Задача 2.

Оскільки циліндр перебуває в рівновазі, то сила тяжіння, яка діє на циліндр, за абсолютною величиною дорівнює силі Архімеда:

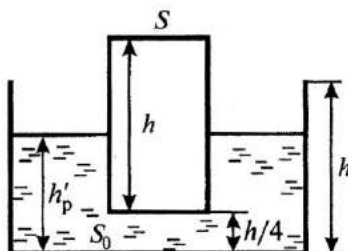
$$mg = F_A, \text{ або } \rho_m Shg = \rho S \left(h'_p - \frac{h}{4} \right) g, \quad (1)$$

де ρ_m – густина матеріалу, h'_p – висота рідини після занурення циліндра (див. рис.), яку знайдемо з умови того, що об'єм рідини у склянці сталий.

$$\frac{h}{2} S_0 = S_0 h'_p - S \left(h'_p - \frac{h}{4} \right), \text{ звідси } h'_p = \frac{h}{4} \frac{2S_0 - S}{S_0 - S}. \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1), одержимо:

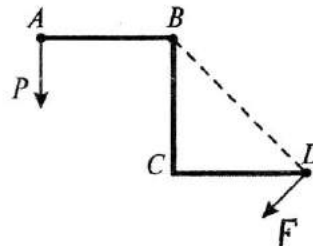
$$\rho_m = \frac{\rho S_0}{4(S_0 - S)}.$$



Задача 3.

За правилом важеля добуток сили, яка діє за годинниковою стрілкою на її плече, має дорівнювати добуткові сили, яка діє проти годинникової стрілки на її плече. Отже, з рисунка випливає:

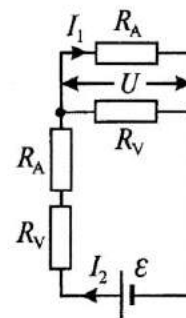
$$P \cdot AB = F \cdot BD, \text{ де } BD = \sqrt{BC^2 + CD^2} = AB\sqrt{2}.$$



Отже,

$$F = \frac{P}{\sqrt{2}}.$$

Задача 4.



Запишімо закон Ома для схеми, яка зображена на рисунку:

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_V + R_A + \frac{R_V R_A}{R_V + R_A}}. \quad (1)$$

$$R_A = \frac{U}{I_1} = \frac{1}{3} \text{ Ом, } R_V = \frac{U}{I_2 - I_1} = 1 \text{ Ом.} \quad (2)$$

Підставмо (2) в (1):

$$\varepsilon = \frac{19}{12} \text{ В} \approx 1,58 \text{ В.}$$

Задача 5.

Під час нагрівання рідини 1(?) кількість теплоти, одержаної від нагрівника, буде:

$$Q_1 = c_1 m_1 \Delta T = P t_1,$$

звідси коефіцієнт нахилу прямої 1:

$$k_1 = \frac{\Delta T}{t_1} = \frac{P}{c_1 m_1}. \quad (1)$$

Для рідини 2:

$$Q_2 = c_2 m_2 \Delta T = P t_2,$$

а коефіцієнт нахилу прямої 2:

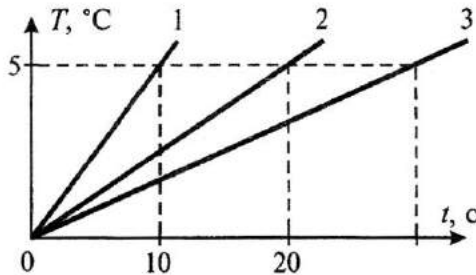
$$k_2 = \frac{\Delta T}{t_2} = \frac{P}{c_2 m_2}, \quad (2)$$

де $t_1 = 10$ с, $t_2 = 20$ с, $\Delta T = 5^\circ\text{C}$. Якщо нагрівати суміш, то

$$Q_3 = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta T = P t_3,$$

а коефіцієнт нахилу прямої 3 (для суміші):

$$k_3 = \frac{\Delta T}{t_3} = \frac{P}{c_1 m_1 + c_2 m_2} = \frac{P t_1}{\Delta T} + \frac{P t_2}{\Delta T} = \frac{\Delta T}{t_1 + t_2}.$$



Отже, графік часової залежності температури під час нагрівання суміші матиме вигляд, який зображено на рисунку, а температура суміші через $t_3 = 30$ с:

$$T = k_3 t_3 = k_3 \frac{\Delta T}{t_1 + t_2} = 5^\circ\text{C}.$$

9-й клас

Задача 1.

Під час руху тіла догори його прискорення дорівнює:

$$a_1 = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт тертя.

Під час руху тіла донизу прискорення буде:

$$a_2 = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha, \quad (2)$$

За графіком знаходимо прискорення a_1 та a_2 :

$$a_1 = v_1/t_1 = 6 \text{ м/с}^2, \quad a_2 = v_2/t_2 = 4 \text{ м/с}^2.$$

Додавши (1) та (2), одержимо:

$$\sin \alpha = 0,5, \text{ а } \alpha = 30^\circ.$$

Задача 2.

Знайдімо початкову та кінцеву висоту кульки:

$$h_0 = l \sin \alpha_0, \quad h_1 = l \sin \alpha_1.$$

За законом збереження енергії:

$$mg(h_0 - h_1) = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv_k^2}{2},$$

де v – швидкість руху бруска, v_k – швидкість руху кульки.

Швидкість руху кульки:

$$v_k = \omega l,$$

де ω – кутова швидкість палички.

Визначимо кутову швидкість палички через лінійну швидкість бруска:

$$\omega = \frac{v \sin \alpha}{a} = \frac{v}{a} \sin^2 \alpha.$$

Тоді,

$$mg\Delta h = \frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2a^2} l^2 \sin^4 \alpha.$$

Звідси,

$$v = \sqrt{\frac{2ma^2 gl(\sin \alpha_1 - \sin \alpha_0)}{M\alpha^2 + ml^2 \sin^4 \alpha_1}}.$$

Задача 3.

В обох випадках у калориметрі встановиться однакова температура 0°C . У граничному випадку вся теплота, що виділиться завдяки охолодженню води піде на танення льоду. Якщо ж цієї теплоти буде недостатньо для того, щоб розтопити увесь лід, то в калориметрі в кінцевому результаті буде вода та залишок льоду при температурі 0°C .

Задача 4.

Нехай R – опір навантаження. Тоді

$$U_0 = I(R_0 + R) = \frac{U}{R}(R_0 + R) = U \left(\frac{R_0}{R} + 1 \right),$$

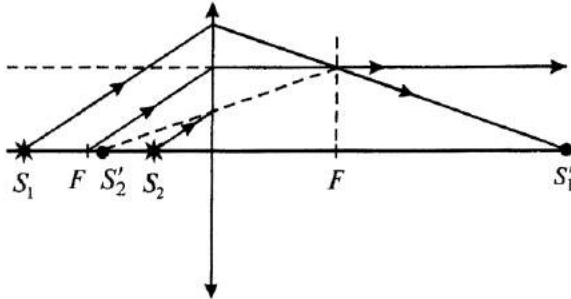
де I – струм у колі.

Звідси,
$$R = \frac{UR_0}{U_0 - U}.$$

Отже,
$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U(U_0 - U)}{R_0} = 1680 \text{ Вт}.$$

Задача 5.

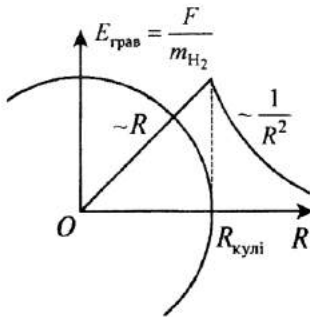
Побудову зображено на рисунку.



10-й клас

Задача 1.

Для з'ясування температури всередині Сонця скористайтесь уявленнями про напруженість гравітаційного поля кулі. Відомо, що залежність напруженості гравітаційного поля кулі має вигляд, зображений на рисунку. Отже, сила гравітаційної взаємодії окремої молекули з рештою молекул Сонця матиме вигляд, аналогічний до напруженості поля з точністю до множника m_{H_2} .



Щоб перемістити молекулу водню з поверхні Сонця всередину, треба виконати роботу, яка дорівнюватиме тепловій енергії частинки всередині Сонця. Роботу з переміщення знайдемо як площу трикутника під графіком сили взаємодії:

$$A = m_{H_2} \frac{GM_C R_C}{R_C^2} \frac{R_C}{2}$$

Теплова енергія: $E = \frac{3}{2} kT$,

де T – температура всередині Сонця.

Отже, $T = \frac{1}{3} \frac{GM_C m_{H_2}}{k R_C} = \frac{1}{3} \frac{GM_C \mu_{H_2}}{R R_C} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ К.}$

Для оцінки тиску всередині Сонця, припустімо, що воно однорідне (з уявлень МКТ – ідеальний газ):

$$p = nkT = \frac{N}{V} k \frac{1}{3} \frac{GM_C \mu_{H_2}}{R R_C} = \frac{N}{\frac{4}{3} \pi R_C^3} \frac{R}{N_A} \frac{1}{3} \frac{GM_C \mu_{H_2}}{R R_C} = \frac{GM_C^2}{4\pi R_C^4} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Задача 2.

Зважаючи на те, тиск пари залишатиметься сталим, робота, яку виконала пара, дорівнюватиме:

$$A = p_0 \Delta V, \text{ звідси } p_0 = \frac{A}{\Delta V} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Запишімо рівняння Менделєєва-Клапейрона для початкового та кінцевого станів:

$$p_0 V_n = \nu_1 RT, \tag{1}$$

$$p_0 (V_n + \Delta V) = \nu_2 RT. \tag{2}$$

Віднімемо (1) від (2):

$$p_0 \Delta V = \Delta \nu RT, \text{ де } \Delta \nu = \frac{m_B}{\rho_B}$$

Отже, $m_B = \mu_B \frac{A}{RT} = 10^{-3} \text{ кг.}$

Знайдімо об'єм пари – V_n :

$$\frac{V_B}{V_n} = \frac{kV_0}{(1-k)V_0}, \text{ звідси } V_n = \frac{1-k}{k} V_B, \text{ де } V_B = \frac{m_B}{\rho_B}$$

$$m_n = \frac{\mu_n p_0}{RT} \frac{m_B}{\rho_B} \frac{1-k}{k} = 7,9 \cdot 10^{-4} \text{ кг.}$$

Задача 3.

Напруженість електричного поля, яке створює заряджена пластина конденсатора без діелектрика, буде:

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

За присутності діелектрика:

$$E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0},$$

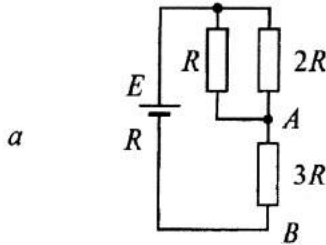
де σ – поверхнева густина заряду на пластинах конденсатора, ϵ – діелектрична проникність введеного діелектрика.

Відношення сил притягання пластин дорівнює відношенню напруженостей електричного поля у цих двох випадках:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{\epsilon}$$

Задача 4.

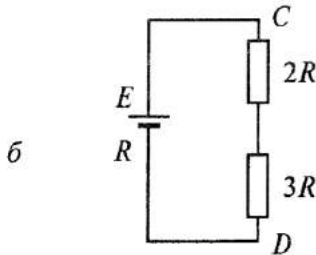
Замкнувши ключ K , електрична схема виглядатиме так, як зображено на рис. a . Напруга на конденсаторі дорівнюватиме U_{AB} . Запишімо закон Ома для такого кола:



$$\frac{E}{I_1} = R + 3R + \frac{2R \cdot R}{2R + R}, \text{ звідси } E = \frac{14}{3} I_1 R.$$

Отже, $U_1 = 3RI_1 = \frac{9}{14} E$, звідси $E = \frac{14}{9} U_1 = 42 \text{ В}$.

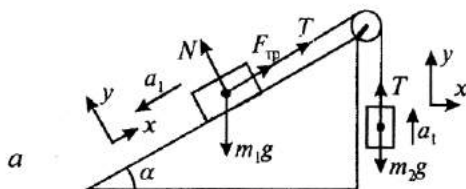
Розімкнувши ключ K , електрична схема виглядатиме так, як зображено на рис. b . Струм через опір R не тече, отже напруга на конденсаторі дорівнює U_{CD} . Запишімо закон Ома для такого кола:



$$\frac{E}{I_2} = R + 5R, \text{ звідси } I_2 = \frac{E}{6R}.$$

$$U_{CD} = I_2 \cdot 5R = \frac{5}{6} E = 35 \text{ В}.$$

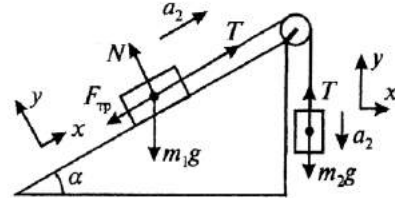
Задача 5. Розгляньмо випадки, коли вантаж m_2 рухається догори і донизу. У першому випадку (рис., a):



$$\begin{cases} T - m_2 g = m_2 a_1 \\ -m_1 g \sin \alpha + \mu N + T = -m_1 a_1 \\ N - m_1 g \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

Звідси $a_1 = g \frac{m_1 (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) - m_2}{m_1 - m_2}$.

У другому випадку (рис., b):



$$\begin{cases} T - m_2 g = -m_2 a_2 \\ -m_1 g \sin \alpha - \mu N + T = m_1 a_2 \\ N - m_1 g \cos \alpha = 0 \end{cases}$$

Звідси, $a_2 = g \frac{m_2 - (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) m_1}{m_1 + m_2}$.

Знайдемо граничні значення m_2 , коли $a_1 = a_2 = 0$.

$a_1 = 0: m_2 = (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) m_1 = 0,098 \text{ кг}$.

$a_2 = 0: m_2 = (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) m_1 = 0,202 \text{ кг}$.

Отже:

при $m_2 = 0,05 \text{ кг}$, $a = a_1|_{m_2=0,05 \text{ кг}} = 1,88 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$;

при $m_2 = 0,15 \text{ кг}$, обидва тіла перебуватимуть у спокої;

при $m_2 = 0,25 \text{ кг}$, $a = a_2|_{m_2=0,25 \text{ кг}} = 0,86 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$.

11-й клас

Задача 1.

Найближча точка еліптичної орбіти збігається з відстанню від ракети до Землі. Сила тяги двигуна ракети діє саме в цій точці, і напрямлена так само, як і вектор швидкості. Вважаймо, що супутник за 10 с дії сили тяги рухається прямолінійно з малим прискоренням. Тому систему відліку, пов'язану із супутником вважатимемо інерціальною. Запишімо закон збереження імпульсу для системи ракета-паливо:

$$(m + \Delta m) v_0 = m(v_0 + \Delta v) + \Delta m(v_0 - v),$$

де v_0 – початкова швидкість ракети.

Звідси, $m \Delta v = v \Delta m = F \Delta t$, але $\Delta t = \Delta m / \mu$,

отже, $F = \mu v = 4 \text{ кН}$.

$$\Delta t = \frac{m \Delta v}{F} = 10 \text{ с}, \Delta m = \mu \Delta t = 10 \text{ кг}.$$

За законом збереження моменту імпульсу:

$$(R + h_1)m(v_0 + \Delta v) = (R + h_2)m v_2. \quad (1)$$

Знайдімо v_0 з умови рівності відцентрової сили та сили притягання космічного корабля в точці його мінімального віддалення від Землі:

$$F_{\text{тяж.}} = F_{\text{відц.}}, \quad m \frac{v_0^2}{R + h_1} = G \frac{mM}{(R + h_1)^2},$$

отже,
$$v_0^2 = G \frac{M}{R + h_1}. \quad (2)$$

Із (1) та (2) одержуємо:

$$v_2 = \frac{\sqrt{GM(R + h_1)} + \Delta v(R + h_1)}{R + h_2} = 7774 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{GM}{R + h_1}} = 7805 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Знайдімо ККД двигуна:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор.}}}{Q}, \quad (3)$$

де Q – теплота, яка виділилася під час згоряння пального, $A_{\text{кор.}}$ – механічна робота, яка пішла на зміну кінетичної енергії ракети.

Запишімо закон збереження механічної енергії для системи ракета-пальне (змінюю гравітаційної енергії взаємодії із Землею за час розгону знехтуймо):

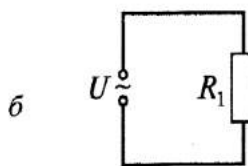
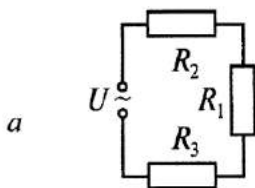
$$A_{\text{кор.}} + \frac{(m + \Delta m)v_0^2}{2} = \frac{m(v_0 + \Delta v)^2}{2} + \frac{\Delta m(v_0 - v)^2}{2}. \quad (4)$$

Із (3) і (4) одержуємо:

$$\eta = \frac{m\Delta v(2v_0 + \Delta v) - \Delta m v(2v_0 - v)}{2q\Delta m} = 0,668.$$

Задача 2.

Половину періоду схема еквівалентна схемі, зображеній на рис. а, а другу половину – на рис. б.



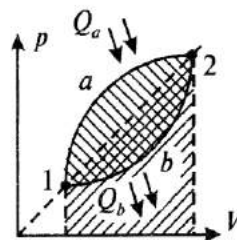
$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}, \quad P_2 = I_2^2 R_1 = \frac{U^2 R_1}{(R_1 + R_2 + R_3)^2}.$$

Середня потужність дорівнює:

$$P_c = \frac{P_1 \frac{T}{2} + P_2 \frac{T}{2}}{T} = \frac{U^2}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{R_1}{(R_1 + R_2 + R_3)^2} \right).$$

Задача 3.

Очевидно, на ділянці 1а2: $Q_a > 0$, а на 2б1: $Q_b > 0$ (див. рис.). КДД такої системи:



$$\eta = \frac{A}{Q_a},$$

де A – корисна робота, яку визначаємо як площу, обмежену дугами, Q_a – затрачена теплота, яку знаходимо так: $Q_a = S_{1a2} + \Delta U_{12}$, тут S_{1a2} – площа під дугою 1а2.

$$A = p_1 V_1 (2\pi - 4), \quad S_{1a2} = p_1 V_1 (\pi + 2),$$

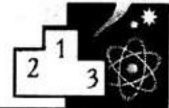
$$\Delta U = \frac{3}{2} R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = 12 p_1 V_1,$$

$$Q_a = p_1 V_1 (\pi + 14),$$

$$\eta = \frac{2\pi - 4}{\pi + 14} \approx 0,133.$$

Задача 4.

Величина струму, який протікає через дротину з площею перерізу S : $I = envS$, де e – заряд електрона, n – концентрація носіїв заряду, v – швидкість дрейфу.



Отже, у першому випадку струм у першій дротині:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}.$$

А швидкість дрейфу дорівнює:

$$v_0 = \frac{I_1}{enS_1} = \frac{U}{enS_1 R_1}.$$

У другому випадку в першій дротині:

$$v_1 = \frac{I_0}{enS_1} = \frac{U}{enS_1(R_1 + R_2)}.$$

Тут I_0 – струм у дротинах. Врахувавши, що $v_0/v_1 = k$, маємо

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} = k - 1,$$

звідси,
$$\frac{D_1}{D_2} = 2.$$

Задача 5.

Період коливання маятника на поверхні Землі дорівнює:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ де } g = \gamma \frac{M_3}{R_3^2}.$$

Кількість коливань маятника за добу дорівнюватиме:

$$N = \frac{T_{\text{добу}}}{T}.$$

На висоті $h = 200$ м прискорення вільного падіння дорівнює:

$$g_{R_3+h} = \gamma \frac{M_3}{(R_3+h)^2} \approx \gamma \frac{M_3}{R_3^2} \left(1 + \frac{h}{R_3}\right)^{-2} \approx \gamma \frac{M_3}{R_3^2} \left(1 - \frac{2h}{R_3}\right).$$

На глибині $h = 200$ м прискорення вільного падіння:

$$g_{R_3-h} = \gamma \frac{M_3 \left(\frac{R_3-h}{R_3}\right)^3}{(R_3-h)^2} \approx \gamma \frac{M_3}{R_3^2} \left(1 - \frac{h}{R_3}\right).$$

$$\frac{N_{R_3+h}}{N} = 1 - \frac{h}{R_3}, \text{ або } N_{R_3+h} = \left(1 - \frac{h}{R_3}\right) N.$$

$$\frac{N_{R_3-h}}{N} = \sqrt{1 - \frac{h}{R_3}},$$

$$\text{або } N_{R_3-h} = N \left(1 - \frac{h}{R_3}\right)^{1/2} \approx N \left(1 - \frac{h}{2R_3}\right).$$

$$N_{R_3+h} - N_{R_3-h} \approx \left(1 - \frac{h}{R_3} - 1 + \frac{h}{2R_3}\right) N = -\frac{hN}{2R_3} < 0.$$

Отже, на висоті 200 м маятниковий годинник відстане від годинника, що йде на глибині 200 м.

Розв'язки підготував
Віталій Лесівців

Претендентів на міжнародну премію „Глобальна енергія” 2004 року збільшилось удвічі

Премія „Глобальна енергія”, що заснована 2002 року з ініціативи провідних російських науковців на чолі з Нобелівським лавреатом акад. Ж. Алфьоровим, помітно зростає. На другий конкурс номіновано понад 60 наукових праць – у двічі більше, ніж минулого року. Значно збільшилась кількість іноземних претендентів на премію: із США, Японії, Англії, Франції, Канади та інших країн. Право висувати номінантів одержали 400 фахівців з різних країн світу. Головними критеріями відбору є „високий науковий рівень представленої праці та її особлива значимість для розв'язання актуальних проблем світової енергетики”. Експертна комісія висунула на розгляд Міжнародного комітету з присудження премії „Глобальна енергія” 2004 року п'ять наукових розробок і відкрить. За словами голови комісії, найбільше зацікавлення цього року викликали праці в галузі теплоенергетики і теплофізики, ядерній енергетиці, імпульсній енергетиці та електрофізиці. Назви визначених праць та імена лавреатів премії 2004 року будуть оголошені 26 квітня на прес-конференції.

Досягнення фізиків – на службу суспільства

Дмитро Тарашенко,

*канд. фіз.-мат. наук, учений секретар
Відділення фізики і астрономії НАН України*

У Національній академії наук України відбулася зустріч науковців з представниками засобів масової інформації. Цього разу розмова йшла про видатні досягнення українських науковців у голографії. Цей принципово новий вид фотографії, започаткований у 1950-х роках минулого сторіччя, докорінно змінив можливості використання світла в різних галузях людської діяльності.

Відкриваючи засідання, голова прес-клубу академік НАН України А.Г. Наумовець, зазначив „Це чудовий приклад того, як фундаментальна наука приходить на допомогу в розв'язанні нагальних проблем суспільства”. Нині голографію застосовують для щільного і надщільного запису інформації, у дефектоскопії для виявлення прихованих напружень у трубопроводах, у механізмах, під час проведення експертизи художніх реліквій тощо. Уже розроблено метод голографічної реєстрації зображення крізь живі біологічні тканини – шкіру і м'язи, лімфатичну рідину. Це дає змогу без будь-якої шкоди для людини одержувати в оптичному діапазоні чітке зображення глибоких шарів м'язової тканини, що раніше досягалося лише за допомогою рентгеноскопії.

Від 1970-х років одним із важливих напрямів діяльності українських оптиків стало створення високоякісних голографічних копій унікальних творів мистецтва та історичних реліквій з музеїв України. Було проведено понад 30 великих виставок образотворчих голограм України у Франції, США, Великій Британії, Японії, Канаді, Німеччині, Португалії. Цей напрям швидко здобув міжнародне визнання, свідченням чого стало включення музейної голографії до програми діяльності ЮНЕСКО. Лабораторії прикладної голографії Інституту фізики НАН України, де розпочинали ці роботи, було надано статус Міжнародного координаційного центру з образотворчої голографії. Фахівці цієї лабораторії (з 1994 року – Міжнародний центр „Інститут прикладної оптики” НАН України) надали допомогу у створенні голографічних центрів в Іспанії, Колумбії, Кубі.

Прикладом суттєвого прориву в комерціалізацію наукових технологій учених-фізиків можна назвати створення науково-технічної бази українського виробництва голографічних захисних елементів з участю фахівців Міжнародного центру „Інститут прикладної оптики” НАН України, який є організатором і координатором роботи в межах комплексної програми „Заходи щодо розвитку наукових досліджень і забезпечення виробництва голографічних захисних елементів”, затвердженої Кабінетом Міністрів України.

Важливим кроком у становленні української голографічної промисловості став Указ Президента України „Про захист документів і товарів голографічними захисними елементами” від листопада 2000 року.

Для реалізації цієї програми за інвестиційної підтримки Комерційного індустріального банку, 2000 року було побудовано, оснащено найсучаснішим обладнанням і введено у дію перше в Україні підприємство, яке має повний цикл виробництва голограм – Спеціалізоване підприємство „Голографія”.

Як лідер української голографічної промисловості, Спеціалізоване підприємство „Голографія” за чотири роки здобуло визнання і на внутрішньому, і на світовому ринках. Підприємство реалізувало понад 230 голографічних проектів і виготовило майже 5 млрд голограм. „Голографія” успішно виконує замовлення, які надходять на голографічну продукцію з Італії, ФРН, Арабських Еміратів, Пакистану, Литви, Латвії, Естонії, Росії, Білорусі, Казахстану, Узбекистану, Молдови.

Останнім часом у світі активно розвивається новий перспективний напрям – сингулярна оптика, яка вивчає різні типи розупорядкування світлових хвиль, що зумовлюють незвичайну поведінку світла. Прикладом сингулярностей можуть бути оптичні вихори – світлові аналоги повітряних смерчів та водяних вирів. В Інституті фізики НАН України запропоновано ефективний спосіб одержання таких хвиль за допомогою голограм, синтезованих на комп'ютері. Оптичні вихори вже мають практичне застосування як своєрідні „оптичні пінцети”, за допомогою яких можна переміщувати мікрочастинки у різних середовищах, зокрема у біооб'єктах, а також урухомлювати оптичні мікродвигуни.

З цими та іншими здобутками й перспективами подальших фундаментальних і прикладних досліджень та напрацювань у галузі голографії і сингулярної оптики ознайомили журналістів директор Інституту фізики НАН України, акад. НАН України М.С. Бродин; завідувач відділу цього інституту чл.-кор. НАН України М.С. Соскін, директор МЦ „ІПО” НАН України, д-р фіз.-мат. наук С.П. Анохов; завідувач відділу і випробувальної голографічної лабораторії Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, канд. фіз.-мат. наук С.О. Костюкевич, голова Ради директорів Спеціалізованого підприємства „Голографія” І.М. Обиденко й технічний директор цього підприємства Г.В. Бейлін та ін.

Учасники цієї зустрічі мали змогу ознайомитись з експозицією, на якій було проілюстровано практичні розробки у галузі голографії.

Астрономічний енциклопедичний словник/ За ред. І.А. Климичина та А.О. Корсунь. – Львів, 2003. – 548 с.

У енциклопедичному виданні, що відображає стан астрономії на початку 2000 року, подано майже 3000 статей з усіх розділів науки про Всесвіт. Автори передусім намагалися найдоступніше розповісти про наземні й космічні засоби, методи астрономічних досліджень в історичному розвитку, описати як розширювався горизонт астрономії, як завдяки застосуванню законів фізики ставало можливим розкриття таємниць „життя” окремих зір (будови їхніх надр, проблеми джерел енергії), процесів, що відбуваються у міжпланетних, міжзоряних і міжгалактичних просторах, а також проблем динаміки й фізики велетенських зоряних систем – галактик, і врешті-решт про побудову моделей усього доступного для спостережень Всесвіту. Читач знайде тут стислу інформацію про астрономічні заклади світу, короткі біографічні довідки про астрономію усіх країн.

АСТРОНОМІЧНИЙ
ЕНЦИКЛОПЕДИЧНИЙ
СЛОВНИК

Для фахівців-астрономів, викладачів вищих навчальних закладів, шкіл, студентів та учнів старших класів, широкого загалу читачів, які цікавляться астрономією.

Видання підготувала Головна астрономічна обсерваторія НАН України за сприяння Львівського національного університету імені Івана Франка.

У Харкові видавнича група „Основа” створила для учителів фізики новий науково-методичний журнал „**Фізика в школах України**”. У цьому виданні можна ознайомитись з офіційними документами МОНУ, методичними рекомендаціями, програмами спецкурсів і факультативів, варіантами організації тематичного контролю, організацією підсумкової державної атестації, методичними рекомендаціями щодо розв’язування навчальних, конкурсних, олімпіадних завдань тощо.

У бібліотеці журналу „**Фізика в школах України**” вийшла книжка **В.А. Старощука** **Дванадцять кроків до майстерності**. – Харків: Основа, 2004. – 112 с.

Автор посібника учитель фізики Валерій Старощук пропонує читачеві „зануритися” у світ „нестандартних” фізичних задач і захопливо розповідає про методи їх розв’язування.

Для вчителів фізики і школярів.



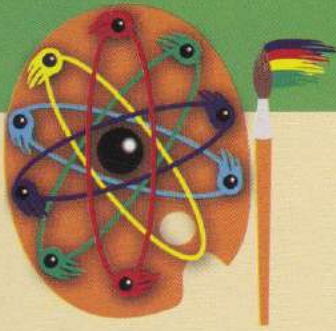
Свросвіт

Приймаємо замовлення на книжки

та журнал „Світ фізики”

за адресою:

видавництво „Свросвіт”,
м. Львів, 79005, а/с 6700
phworld@franko.lviv.ua



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



Г. Нарбут (1886–1920).

Еней з військом. Ілюстрація до поеми І. Котляревського «Енеїда». 1919.

Нарбут Григорій Іванович народився на хуторі Нарбутівка (нині Сумська область, Україна) 14 (26) листопада 1886 у сім'ї поміщика. Талант книжкового графіка виявив вже в гімназійні роки в Глухові (1896–1906). Навчався мистецтву в Петербурзі, згодом у Мюнхені.

У 1913–1916 роках Нарбут працює вже як самобутній графік. Він творить для видавництв І. Кнебеля, «Шиповник», «Община святої Євгенії» та інших. У Нарбута витворюється власний стиль. Він полюбив військові атрибути, зброю, геральдику, оздоблює книги. Манера епохи розквіту Г. Нарбута, може, найкраща в новітній графіці того часу. М'яка, пружна, еластична й стилізована.

Року 1917 майстер переїжджає до Києва де створює такі шедеври як цикли рисунків до Енеїди І. Котляревського, «Українську абетку» та інші. Того ж року Г. Нарбут став автором першої грошової купюри Української Народної Республіки. Проектуючи ескіз купюри 100 карбованців, художник використав тризуб. Оригінальний знак одразу запам'ятався українським патріотам і став державним гербом України. У період Української Держави гетьмана Скоропадського Г. Нарбут розробив державну печатку із зображенням козака з мушкетом.

У 1919–1920 роках Г. Нарбут оформляв журнали «Мистецтво», «Сонце праці», «Зорі», «Народне господарство України». Викладав в Українській Академії мистецтв, був її ректором. Помер Нарбут у Києві 23 травня 1920 року.