

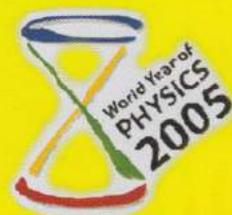
С В І Т

Ф І З И К И

№3
2005

науково-популярний журнал

**2005 рік –
оголошено
роком фізики**

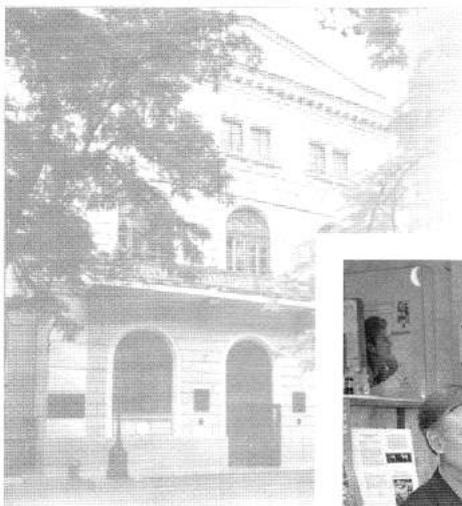


Фундаментальні знання про природу –
одні з найбільших скарбів,
і належать вони всьому людству

Лео Есакі



УЧАСНИКИ ВСЕУКРАЇНСЬКОГО З'ЇЗДУ «ФІЗИКА В УКРАЇНІ»



Всеукраїнський з'їзд "Фізика в Україні"



Доктор фізико-математичних наук Я. І. Лепіх, академік НАН України А. П. Шпак,
доктор фізико-математичних наук В. А. Сминтина, академік НАН України А. Г. Наумовець,
кандидат фізико-математичних наук, професор Г. Г. Чемересюк



В залі засідань з'їзду



Учасники з'їзду оглядають виставку наукових видань

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. лицей,
СП „Євросвіт”

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

Олекса Біланюк

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Юрій Ранюк

Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерне макетування та друк
СП „Євросвіт”, 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

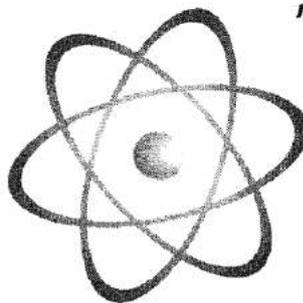
www.franko.lviv.ua/publish/phworld

”...Упродовж трьох минулих сторіч збагачувались переважно ті нації, яких доля обдарувала багатими природними ресурсами або які зуміли нагромадити великий капітал. Розквіт великих держав Європи у XIX сторіччі та США у XX цілком відповідає цьому класичному хрестоматійному принципіві.

Однак за думкою деяких учених у XXI сторіччі відбудеться історичний відтік багатства від країн із природними ресурсами і великим капіталом. Так само як зсув тектонічних плит Землі може спричинити потужні землетруси, так і ”сейсмічний” зсув багатства призведе до перерозподілу влади на планеті. Багато націй, що щедро обдаровані природними ресурсами, втратять значну частку свого теперішнього добробуту, оскільки на ринку майбутнього товари будуть дешеві, торгівля стане глобальною, а окремі ринки сполучатимуться між собою електронним способом. Навіть сам капітал перетвориться на товар і мчатиме навкруг світу електронними каналами. Багато націй, що позбавлені природних ресурсів, у XXI сторіччі благоденствуватимуть, бо зробили ставку на ті технології, які можуть забезпечити їм конкурентні переваги на глобальному ринку. Сьогодні тільки знання й уміння можуть бути джерелом порівняних переваг...”

*За книжкою Мічіо Каїку ”Візі:
Як наука змінить XXI сторіччя”*

**Не забудьте
передплатити журнал
„Світ фізики”**



**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові й маловідомі явища фізики

Проскура Олександр. Герман фон Гельмгольц

Ахіллес Манфред. Про радіометр Крукса та Пулроя
або т. зв. "світловий млинок"

3

13

2. Олімпіади, турніри...

Умови задач XIV Всеукраїнського турніру юних
фізиків 2005/2006 навчального року

Умови задач IV Всеукраїнського студентського
турніру фізиків 2005/2006 навчального року

16

18

3. Фізика для наймолодших

Старощук Валерій. Досліди Мудрагелика. Заняття 6.
Мудрагелик вчиться літати

20

4. Олімпіади, турніри...

Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади
з фізики 2005 р.

24

5. Реальність і фантастика

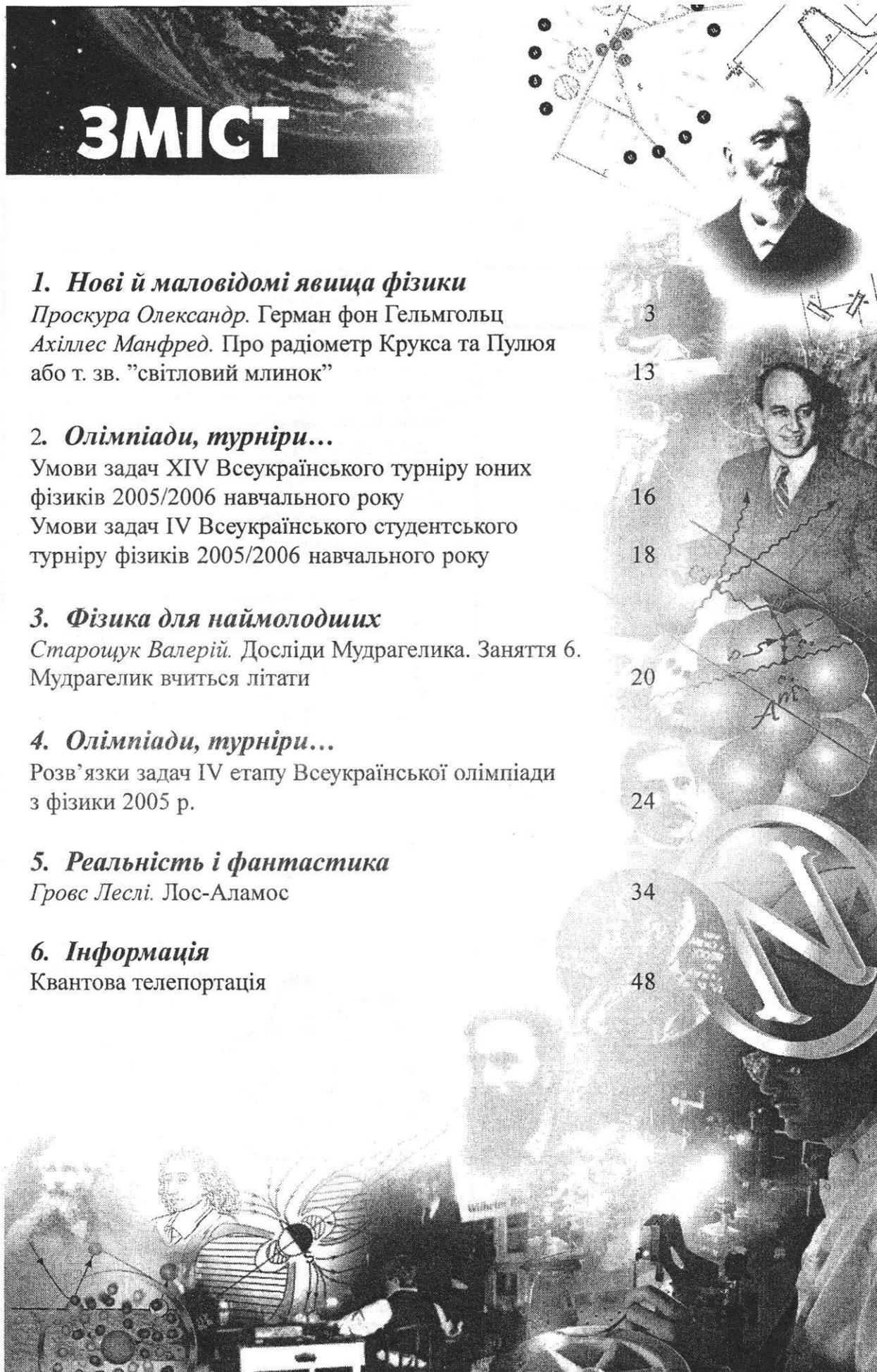
Гровс Леслі. Лос-Аламос

34

6. Інформація

Квантова телепортація

48





Герман фон Гельмгольц

Олександр Проскура

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



*Свобода неминуче
приносить відповідальність
Г. Гельмгольц*

Германа фон Гельмгольца (1821–1894) сучасники вважали найвидатнішим науковцем і універсальним генієм. Він йшов у науці власними шляхами. Гельмгольц блискуче виявив себе в медицині, з якої вийшов, а також в анатомії та фізіології, де досягнув перших великих успіхів, у математиці, яка дала йому змогу кількісно представити наукові результати, у фізиці, якою він захопився ще в дитинстві й якій віддав останні 20 років своєї праці, в метеорології та геології і, нарешті, у філософії. Гельмгольц став національною гордістю Німеччини.

Розгляньмо коротко діяльність Гельмгольца з акцентуванням на його внескові до фізичної науки. Основні праці Гельмгольца з фізики давно зібрано в трьох томах [1]. Його наукову, організаційну та педагогічну діяльність постійно вивчають [2–7]. Окремо аналізують його фізичні дослідження [8–11]. Про Гельмгольца є багато літератури.

Герман Гельмгольц (Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz) народився 31 серпня 1821 року в родині гімназійного вчителя і філолога Фердинанда Гельмгольца та його дружини Кароліни в німецькому місті Потсдам. Він одержав гуманістичне виховання. Від матері він успадкував доброзичливий гумор та схильність до мистецтва, а від батька – наполегливість у праці й інтерес до філософії та поезії. В гімназії завдяки доброму вчителю фізики, який був захоплений своїм предметом, Герман настільки захопився фізикою, що, наприклад, під час уроків з латини креслив під партою хід променів у телескопі. Це захоплення не завадило гімназистові, окрім давніх мов – старогрецької та латинської, засвоїти також іврит, арабську, французьку та англійську, яка була рідною мовою для його матері.

Закінчивши з відмінними оцінками гімназію, сімнадцятилітній юнак мав намір вивчати природничі науки, але оскільки професія фізика не давала гарантій достатку, то він за наполяганням батька вступив 1838 року до Королівського медико-хірургічного інституту Фрідріха Вільгельма в Берліні, щоб опанувати фах військового лікаря. Там навчання було майже безоплатним. Якби не ці суттєві обставини, то, як визнав 1868 року Гельмгольц, він розпочинав би свою працю як фізик.

До берлінського помешкання Герман насамперед завіз своє фортепіано. В інституті в стосунках зі своїми ровесниками Гельмгольц був коректним, хоч дотримувався дистанції; вони ж поважали його за розум.

Під впливом знаменитого професора фізіології Мюллера (Johannes Muller, 1801–1858) Гельмгольц активно зацікавився фізіологією. В дослідженнях з фізіології Гельмгольц використовував відомі й розробляв нові фізичні методи, оскільки з дитячих років його серце залишалось вірним фізиці. В студентські роки він на все життя подру-



жився із засновником сучасної фізіології Дюбуа-Раймоном (Emil du Bois-Reymond, 1818–1896).

Г. Гельгольц закінчив навчання 1842 року й здобув науковий ступінь доктора медицини. Сучасні йому медики вважали, що з'ясування природи фізико-хімічних процесів та фізіологічних явищ, які відбуваються в людському організмі, сприятиме розвиткові терапії. Гельмгольц досягнув видатних успіхів у пізнаванні цих процесів. Вважають, що йому пощастило вже на початку кар'єри, коли Мюллер звернув увагу провідного берлінського фізика Магнуса (Gustav Magnus, 1802–1870) на молодого лікаря, який 1844 року надрукував у журналі з фізіології наукову статтю, автор якої Гельмгольц користувався фізичними методами досліджень. Внаслідок цього Гельмгольц узимку 1845–1846 років продовжив свої дослідження з фізіології з досконалішими фізичними приладами в приватній фізичній лабораторії Магнуса і так увійшов до кола його учнів.

Г. Гельмгольц був активним учасником і Фізичного колоквіуму Магнуса, і організованого учнями Магнуса Берлінського фізичного товариства, на базі якого виникло сучасне Німецьке фізичне товариство. Саме на засіданні Берлінського фізичного товариства 23.07.1847 Гельмгольц зачитав свою знамениту доповідь "Про збереження сили", в якій на прикладі багатьох явищ неживої природи та явищ органічного світу теоретично розглянув проблеми збереження енергії. На цей час фізика завдяки впливові й Магнуса, відходила від натурфілософського споглядання, і в ній зростала увага до експериментальних досліджень.

Лікарі сподівались, що уявлення про життєву енергію можна було пояснити енергетичними перетвореннями в людському організмі. На цій підставі лікар Маєр (Julius Robert Mayer, 1814–1878), відомий формулюванням закону збереження енергії, та його колега Гельмгольц звернулись до вивчення ролі теплоти в фізіології.

У доповіді "Про збереження сили" Г. Гельмгольц уперше широко та узагальнено розглянув закон збереження енергії. Про те, що в механічних процесах енергія не виникає і не зникає, відомо було ще Ньютоні (Isaac Newton, 1642–1727). Гельмгольц у своїй праці спирався на відоме з механіки твердження про збереження "живої сили", старе поняття яке передувало термінові "кінетична енергія". Гельмгольц показав, що теплові явища також підлягають законам збереження. Без представлення нових експериментальних результатів Гельмгольц розглянув закон збереження на прикладі різноманітних уже відомих фізичних явищ – непружний удар, тертя, гальванічні та термоелектричні процеси, явища електромагнетної індукції та інші, які виявляються в електриці, оптиці, акустиці та органічній природі, узагальнив його. Цей закон став відомим як перше начало термодинаміки. Отже, теоретично було покладено край привабливому привидові "perpetuum mobile". Коли Гельмгольц запропонував слухачам цю свою роботу з далекосяжними наслідками, то він ще не знав, що двоє його попередників уже описали аналогічні висновки, а саме – Джоуль (James Prescott Joule, 1818–1889) 1845 року в Манчестері експериментально довів, що механічна

РЕЗОНАТОРИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Іменем Гельмгольца назвали декілька відомих експериментальних приладів: система двох паралельних кілець дроту, яку використовують для визначення складової магнетного поля Землі та акустичні резонатори, які в XIX сторіччі використовували для спектрального аналізу звуку.

Резонатор Гельмгольца – це посудина відомого об'єму з жорсткими стінами і лункою з одного боку. Під час дії змінного звукового тиску резо-

натор відгукується на коливання такої частоти, яка збігається з частотою його власних коливань.

Резонатори, які мають добротність понад 40, роблять можливим виявлення вищих гармонік акустичних хвиль.

На світлинах зображено колекції резонаторів, які знаходяться у різних навчальних закладах світу.



енергія повністю перетворюється на таку ж кількість теплоти, а Маєр у Гайльброні прийшов до такого ж висновку ще на два роки раніше. Після дискусії про пріоритет, в якій йшлося насамперед про німця Маєра та англійця Джоуля, яку провів англійський науковий часопис *Philosophical Magazine* в 1862–1865 роках, закон збереження енергії став загальноприйнятим.

Гельмгольц намагався відповісти на запитання про те, як із законів динаміки, якими описується рух мас, можна одержати інтеграли руху, тобто незмінні при русі функції узагальнених координат і узагальнених швидкостей. Першим інтегралом руху будь-якої замкненої системи є її повна енергія, в цьому і полягає математичне формулювання закону збереження та перетворення енергії. Гельмгольц своєю доповіддю продемонстрував тісний зв'язок між використанням математичного апарату та фізичної ідеології у постановці та розв'язанні фізичних проблем і в такий спосіб сприяв новому важливому підходові у фізиці, пов'язаному з відмінностями між теоретичною та експериментальною фізикою. Завдяки дослідженню Гельмгольца в механіці утверджувався закон збереження кінетичної та потенціальної енергій для замкнутої системи і на прикладах немеханічних явищ також обґрунтовувалась універсальність закону збереження. Деякі сучасники сприйняли працю Гельмгольца попри її фізичну орієнтацію досить скептично, як це було й у випадку з науковими результатами Маєра. Відомий природодослідник та німецький видавець Погендорф (Johann Christian Poggendorf, 1796–1877) не над-

рукував її в своєму журналі "Annalen der Physik und Chemie", тому Гельмгольц надрукував її окремо. Однак з часом і Погендорф і Магнус відійшли від спекулятивної натурфілософії під впливом цієї праці Гельмгольца.

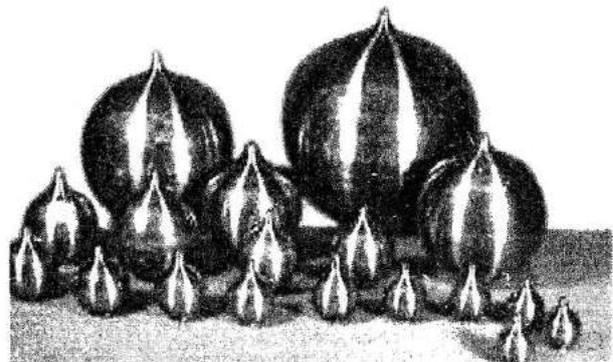
У часи усвідомлення закону збереження особливо відчутним виявилось його евристичне значення для електродинаміки, адже дві останні глави роботи Гельмгольца "Про збереження сили" були присвячені електродинаміці, і в них уперше були представлені вирази для енергії електричного та магнетного полів. Після опублікування цієї доповіді Гельмгольц почав дбати про своє визнання як фізика. Аналіз доповіді показав історикам науки, що в ній була закладена програма подальших фізичних досліджень Гельмгольца з наголосом на електродинаміці та термодинаміці.

Гельмгольц працював військовим лікарем у Потсдамі до 1848 року, поки завдяки його науковим досягненням його достроково не звільнили від військової служби. Далі впродовж одного року Гельмгольц викладав анатомію в Берлінській академії мистецтв, а в 1849–1870 роках працював професором фізіології в університетах Кенігсберга (сучасна назва Калінінград), Бонна та Гайдельберга.

Праця над університетськими лекціями в Кенігсберзі впродовж 1849–1855 років посилила в молодого професора науковий інтерес до різноманітних досліджень з фізіології, зокрема, органів чуття. У цій галузі, якій Гельмгольц віддав 25 років інтенсивної праці, він був поза конкуренцією. Важливими стали результати вимірювання швид-

РЕЗОНАТОРИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Рис. 1. Резонатори, які знаходяться в Грінельському коледжі





кості поширення нервового збудження, що їх він одержав у Кенігсберзі.

За роки праці в Кенігсберзі Гельмгольц здійснив багато поїздок по Європі, щоб налагодити наукові контакти з провідними науковцями. Особливо гарні стосунки склались у нього з британськими колегами. На запрошення Королівського товариства Гельмгольц 1853 року вперше побував у Англії, тут він познайомився з фізиками Фарадеєм (Michael Faraday, 1791–1867) і Стоксом (George Gabriel Stokes, 1819–1903), з хеміком Ендрюсом (Thomas Andrews, 1813–1885), з астрономом Айрі (George Bindell Airy, 1801–1892), уважно оглянув Грінвічську обсерваторію. Характерно, що вже тоді Гельмгольца приймали в Англії не як фізіолога, а як фізика. Після 1855 року в Гельмгольца склались дружні стосунки з фізиком лордом Кельвіном (William Thomson, 1824–1907).

У Кенігсберзі Гельмгольц прожив роки щасливого подружнього життя з першою дружиною Ольгою фон Велтен (Olga von Velten, 1826–1859). З'ясувалось, що в Кенігсберзі на той час не було сприятливих умов для обміну думками з науковцями та для експериментальних досліджень, тому Гельмгольц переїхав працювати до Боннського університету, де продовжив фізіологічні дослідження та опублікував першу частину "Підручника з фізіологічної оптики" й уклав конспект "Вчення про сприйняття звуків".

Гельмгольц 1851 року винайшов дзеркало для дослідження сітківки ока – офтальмоскоп, що зробило його знаменитим, і першим розпочав відповідні систематичні дослідження, які виявились

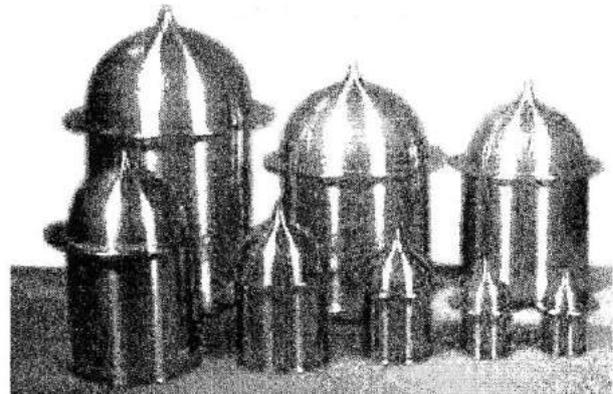
важливими в теоретичному та практичному планах. Офтальмоскоп використовують у медичній практиці досі.

Вивчаючи акомодацию ока, Гельмгольц проаналізував заломлення світла в оці з використанням властивого для оптики фізико-математичного підходу. Він розвинув також теорію кольорового бачення англійського фізика Юнга (Thomas Young, 1773–1829), за якою нервові закінчення в людському оці вибірково реагують на світло трьох основних спектральних ділянок – червоне, жовто-зелене і блакитно-фіолетове. Свої сенсорно-фізіологічні дослідження Гельмгольц виклав у тритомовому "Підручнику фізіологічної оптики", який і сьогодні належить до фундаментальних джерел у цій галузі. Дослідження про сприйняття простору людським оком привели Гельмгольца 1868 року до деяких геометричних висновків, які разом з результатами Рімана (Bernhard Riemann, 1826–1866) стосувались основних тверджень неевклідової геометрії і згодом з'ясувалось фізично важливими у зв'язку із загальною теорією відносності Айнштейна (Albert Einstein, 1879–1955).

Водночас з вивченням органів зору Гельмгольц розпочав 1855 року велику наукову програму з дослідження фізіології акустики і заклав основи резонансної теорії слуху. В результаті цих досліджень 1863 року вийшла друком його книжка "Вчення про сприйняття звуку. Теорія музики". Звернувшись до проблем музикальної акустики та гармонії, Гельмгольц вийшов за межі фізіології та фізики і заглибився в музикознавство та естетику. Відповідно до своєї артистичної натури

РЕЗОНАТОРИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Рис. 2. Резонатори, які зберігаються у Вустерському коледжі, їх придбали 1900 року в Хемніці (Німеччина)





і наукових інтересів Гельмгольц на зборах Товариства німецьких природодослідників та лікарів до дня народження композитора Бетговена виступив 1857 року з доповіддю "Про фізіологічні причини музикальної гармонії". Надаючи практичні поради з акустики нью-йоркській фірмі "Steinway", яка ще в Німеччині відома як "Steinweg" прославилась виробництвом фортепіано, Гельмгольц одержав, зокрема, від неї у винагороду роля.

Дослідження з акустики викликали в Гельмгольца зацікавлення до питань гідродинаміки та аеродинаміки. Він помітив аналогію між водяним вином та електромагнетною дією електричного струму. Опрацювавши кінематику та динаміку вихору, він поширив свої теоретичні результати на геофізичні явища – поведінку хмари, виникнення бурі, атмосферний рух. Повернувшись до акустики, він теоретично розв'язав задачу про поведінку плоских звукових хвиль при їхньому виході з циліндричної труби.

1858 року розпочалась професура Гельмгольца в Гайдельберзі. Фізик Кірхгоф (Gustav Robert Kirchhoff, 1824–1887). У листі до Гельмгольца 27.02.1858 з приводу його прибуття до Гайдельберга наголосив: "Весь Гайдельберг радіє з того, що Ви приходите сюди, і я переконаний, що Вам тут теж буде радісно". У гайдельберзький період 1858–1870 років Гельмгольц виконав вершинні дослідження з фізіології і перемістив наголос своїх наукових інтересів з фізіології на фізику. Його конгеніальними колегами в Гайдельберзі були хемік Бунзен (Robert Bunsen, 1811–1899) і фізик Кірхгоф. Завдяки цим науковцям Гайдельберг тривалий час був центром природознавчих досліджень.

В історії астрофізики Гельмгольц теж залишив свій помітний слід. Він першим 1863 року висловив гіпотезу про те, що Сонце і зорі випромінюють енергію внаслідок стискування газів. Хоча Гельмгольц і помилився з оцінкою віку Сонця та через історичні обставини ще не міг зв'язати походження сонячної енергії з ядерними реакціями, однак з його гіпотези розпочинається фізичне розкриття цієї астрофізичної проблеми.

Гельмгольц 1871 року за сприянням ректора Берлінського університету Дюбуа-Раймона почав працювати в цьому університеті, де очолив кафед-

ру фізики після свого вчителя експериментатора Магнуса. Отже, Гельмгольц вийшов на перше місце в німецькій фізичній науці, яка вела перед у світовій фізиці, та в 50 років офіційно став штатним професійним фізиком. Тоді ж його обрали членом Берлінської академії. Запрошення Гельмгольца як надзвичайно авторитетного науковця на роботу до Берліна відповідало політичним намірам німецьких та пруських державотворців. За німецькою конституцією 1871 року король Пруссії як імператор мав керувати Німецькою імперією, що була так званим "вічним союзом", укладений між німецькими князями. За такої ситуації Гельмгольц поєднав свій перехід до столичного Берліна з умовою – збудувати для нього при університеті новий і потужний Фізичний інститут. Про створення інституту свого часу клопотався і Магнус. Умову Гельмгольца про побудову для нього Фізичного інституту німецька держава після її формального об'єднання виконала 1876 року. Будівництво Фізичного інституту, який сучасники називали "Палацом фізики", обійшлося 1,5 млн райхсмарок. Річний бюджет інституту становив 27000 талерів.

У Берліні Гельмгольц досягнув zenіту творчості. Гельмгольц трудився, на диво, інтенсивно, звичайно в лабораторії і за письмовим столом він працював до пізньої ночі. Його талановита і добре освічена друга дружина Анна фон Моль (Anna von Mohl, 1834–1899) ввела науковця в суспільне життя столиці новоствореної Німецької імперії і вміло оберігала його від тих чинників, які могли б зашкодити науковій роботі чоловіка.

Читаючи в Берлінському університеті після Магнуса великий курс експериментальної фізики, Гельмгольц запропонував створити університетську кафедру теоретичної фізики, яку в ті часи звичайно викладали приват-доценти. Як наслідок завдяки ініціативі Гельмгольца в Берліні виникла перша німецька кафедра теоретичної фізики. На ній починаючи з 1875 року Кірхгоф, на запрошення Гельмгольца читав систематичний чотирисеместровий курс теоретичної фізики. Після смерті Кірхгофа Гельмгольц читав розширений шестисеместровий курс теорфізики і згодом подбав про запрошення на кафедру теоретичної фізики молодого теоретика Планка (Max Planck, 1858–1947), якого він високо цінував як знавця термо-



динаміки. До появи Планка в університеті Гельмгольц наполог також на організації Інституту теоретичної фізики. В такий спосіб завдяки зусиллям Гельмгольца берлінська школа експериментальної фізики Магнуса збагатилась на школу теоретичної фізики.

Г. Гельмгольца 1877 року обрали ректором Берлінського університету. З цієї нагоди Гельмгольц виголосив промову "Про академічну свободу німецьких університетів", в якій звернувся до студентів з такими думками: "Ви, мої юні друзі, здобули цю свободу німецьких студентів як дорогоцінний та шляхетний заповіт попередніх поколінь. Свобода неминуче приносить зі собою відповідальність. Вона є згубним подарунком для нестійкого характеру і цінним для сильного. Звісно, державі та нації кращу послугу роблять ті, які можуть витримати випробування свободою і які показують, що вони усвідомлюють потребу працювати в науці й прагнути результату, спираючись на власні сили, розсудливість та зацікавленість".

Гельмгольц усвідомлював виняткову важливість соціальної функції ректора. На високому рівні він спілкувався з найвпливовішими особами держави і був вхожий до двору імператора. Він впливав на події, не афішуючи своєї ролі. В університеті ініціативи ректора звичайно підтримували сенат і факультети, ці ініціативи стосувались не тільки природознавчих проблем. Симптоматично, що першим, кого Гельмгольц запросив до праці в університеті, був за фахом не природодослідник, як цього можна було сподіватись, а

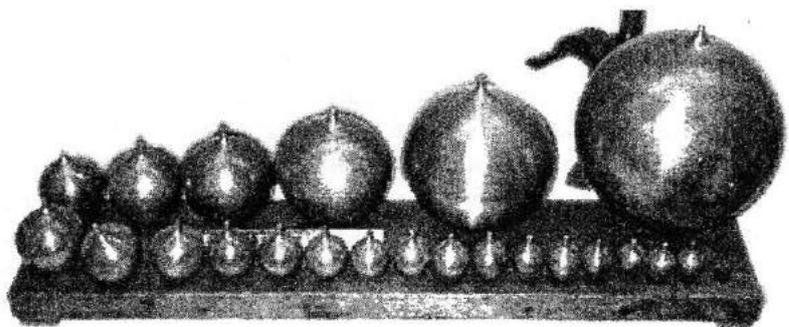
глибокий знавець античної філософії Целлер (Eduard Zeller, 1814–1908).

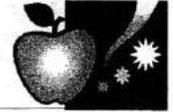
Гельмгольц 1881 року в Англії на засіданні Королівського товариства, яке зібралось з нагоди вшанування пам'яті Фарадея, вперше сформулював ідеї про квантування електричних зарядів і про ймовірність існування елементарного електричного заряду, який за кілька десятиріч було відкрито і названо електроном. До гіпотези про квантування заряду Гельмгольца підводили праці Фарадея, чийм послідовним прихильником Гельмгольц залишався в ставленні до електричних та магнетних явищ.

На цей час уже були опубліковані дослідження Гельмгольца про контактні явища між металами та про формування і властивості тонкого шару – подвійний шар Гельмгольца – на межі між металевим електродом та електролітом, в якому відбувається просторове розмежування протилежних за знаком електричних зарядів. Напрям досліджень приконттактних явищ, до розвитку якого був причетний також Квінке (Georg Hermann Quincke, 1834–1924), виявився продуктивним та історично перспективним. Покажемо це на конкретному прикладі з фотоелектроніки. Досліджуючи природу історично першого фотогальванічного явища – так званого ефекту Беккереля (Alexandre Edmond Becquerel, 1820–1891), відомого з 1839 року як явище виникнення різниці електричних потенціалів між двома зануреними в електроліт металевими електродами, один з яких освітлюється, О. Гольдман і Й. Бродський [12, 13] 1914 року припустили, що до електропровідного

РЕЗОНАТОРИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Рис. 3. Резонатори Гельмгольца, що знаходяться в колекції музею класичної фізики в університеті Вандербільд (Париж), які виготовили 1873 року





середовища між електродами можуть потрапити тільки ті вивільнені з електродів фотоелектрони, чия енергія достатня для проходження подвійного електричного шару на межі метал – електроліт, де електрони гальмуються в електроліті електричним полем. З'ясувалось, що подвійний електричний шар виникає також у напівпровідниках. Опрацювання цієї ідеї дало змогу О. Гольдману (Олександр Генріхович Гольдман, 1884–1971) забезпечити в київському Інституті фізики АН УРСР виготовлення, починаючи з 30-х років минулого сторіччя кращих у СРСР твердотільних фотоелементів серії "ФЕССУ" (фотоелемент сірчано-срібний український). У напівпровідниковій електроніці, де функції подвійного шару є принципово важливими, замість поняття подвійного електричного шару часто вживають персоніфікований термін – шар Шоттки, названий так на честь німецького фізика Шоттки (Walther Schottky, 1886–1976), який наприкінці 30-х років XX сторіччя розвинув теорію контактних приповерхневих явищ у напівпровідниках і в такий спосіб суттєво вплинув на індустрію, що забезпечує розвиток інформаційного суспільства.

Досліджуючи 1883 року експериментально та теоретично хемічні та електрохемічні перетворення, зокрема, в гальванічних елементах, Гельмгольц розвинув ідеї Клаузіуса (Rudolf Emanuel Clausius, 1822–1888) про теплоту, фізика якої бурливо розвивалась, починаючи із середини XIX сторіччя, і, ввівши до термодинаміки поняття вільної та зв'язаної енергії як функцій стану, одержав найважливіші рівняння термодинаміки хемічних процесів. Згодом він дізнався, що його попередником в цьому напрямі був Гіббс (Josiah Willard Gibbs, 1839–1903). Наслідком їхньої паралельної праці стало те, що у фізичній хемії науковці використовують потенціал та рівняння Гіббса-Гельмгольца.

Перед приходом Планка на кафедру теоретичної фізики Берлінського університету Гельмгольц, як уже згадувалось, повернувся до читання свого курсу теоретичної фізики і 1892 року вирішив його опублікувати. Сучасники згадували, що університетські лекції Гельмгольца за рівнем викладу і змістом матеріалу відповідали зацікавленним у фізиці та краще підготовленим студентам. Його лекції завдяки їхній насиченості та чіткості відра-

зу ж можна було переносити на папір для укладання підручників. За допомогою учнів Гельмгольца, зокрема Лауе (Max von Laue, 1879–1960), які взялися за редагування семитомового курсу вже після смерті свого професора, лекції Гельмгольца з теоретичної фізики з'явилися друком у 1897–1907 роках.

Німеччина була знаменита високим рівнем науки та освіти, тому до неї з усього світу їхала вчитись талановита і допитлива молодь. У Гельмгольца було багато студентів з Російської імперії [14]. Його лекції слухали майбутні професори фізики Московського університету Столетов (Александр Григорьевич Столетов, 1839–1896) у 1862–1866 роках і Лебедев (Петр Николаевич Лебедев, 1866–1912) у 1899–1890 роках, а також професори фізики Київського університету Авенариус (Михаил Петрович Авенариус, 1835–1895) в середині 1860-х років і Шіллер (Николай Николаевич Шиллер, 1848–1910) в 1872–1874 роках. Знаменитий харківський офтальмолог Гіршман (Леопольд Леопольдович Гиршман, 1839–1921) також навчався в 1864–1868 роках у Гельмгольца. Студенткою Гельмгольца в 1859–1867 роках була письменниця Марко Вовчок (Мария Александровна Вилинская-Маркович, 1834–1907).

Гельмгольц став також відомим популяризатором науки, понад двадцять його науково-популярних доповідей опубліковано. Перед опублікуванням тексти таких доповідей звичайно переписували по чотири–шість разів. Характерно, що попередньо ці доповіді зачитували і тестували в родинному колі. Його перша дружина Ольга фон Велтен записувала доповіді та працювала над їхніми текстами. Анна фон Моль, з якою Гельмгольц одружився 1861 року і яка своїм незрівняним шармом та розумом сприяла йому відіграти видатну роль у суспільстві, брала також участь у перекладі книжки "Теплота" англійського фізика Тиндалля (John Tyndall, 1820–1893).

У Берліні Гельмгольц зберігав тривалу зацікавленість електродинамікою, конкретний інтерес до якої у нього з'явився ще в Гайдельберзі. Тому він зазвичай ставив своїм берлінським докторантам завдання дослідним шляхом перевіряти наближеність до істини того чи того теоретичного підходу в межах цієї проблеми. Так сталось і з його улюбленим учнем Герцем (Heinrich Hertz,

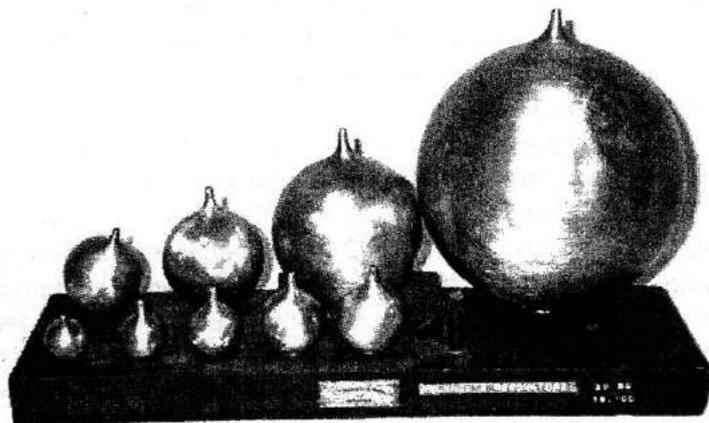


1857–1894), якому Гельмгольц 1879 року запропонував експериментально підтвердити достовірність теорії електромагнетного поля за Максвелом (James Clerk Maxwell, 1831–1879), з яким Гельмгольц мав спільні наукові інтереси в галузі електродинаміки. За поданням Гельмгольца, Берлінська академія наук встановила премію за вдалий розв'язок цієї задачі. Гельмгольц був упевнений, що Герц здобуде цю премію. Теоретично добре підготовлений Герц швидко виконав попередні розрахунки і з'ясував, що в Берліні не вистачає апаратури, потрібної для постановки відповідного дослідження. Реальна можливість здійснити потрібні експерименти з'явилась у Герца згодом у місті Карлсруе, де він, працюючи професором Технічної високої школи, нарешті виконав сформульоване Гельмгольцем завдання і восени 1887 року відкрив та до 1889 року дослідив передбачені Максвелом електромагнетні хвилі, які тривалий час після відкриття називали електричними хвилями Герца. Отже, Гельмгольц виявився причетним до епохально важливого відкриття. З цього приводу Герц 1890 року заявив, що відкриттям електромагнетних хвиль він завдячує ідеям Гельмгольца. Доречно наголосити, що під час проведення цих досліджень Герц також помітив вияв зовнішнього фотоелектричного ефекту і встановив його основні ознаки. Гельмгольц цінував Герца і назвав його після передчасної смерті "єдиним, хто найглибше вжився в моє коло наукових роздумів".

Гельмгольц реалізував наміри свого вчителя Магнуса створити в Берліні державну науково-дослідну фізичну установу, яка мала б відповідати потребам індустріального суспільства і де, на відміну від традиційних університетів, висококваліфіковані фахівці могли б повністю зосередитись на дослідницькій праці. Така установа як Фізико-технічний імперський інститут (Physikalisch-Technische Reichsanstalt, PTR, нині – Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB) розпочала свою діяльність 1887 року в приміщеннях Технічної високої школи в берлінському районі Шарлоттенбург. Цю установу називають Фізико-технічним інститутом (ФТІ). Фактично ФТІ було організовано для Гельмгольца, який був президентом ФТІ і спрямовував його наукову діяльність. У ФТІ відповідно до метрологічних задач провадили високоточні вимірювання. Зокрема було обґрунтовано пропозицію Сименса (Werner von Siemens, 1816–1892) щодо затвердження ртутного еталону одиниці електричного опору – Ома, який він розробив 1860 року. Починаючи з 1891 року, ФТІ працював у новому будинку на ділянці, наданій за сприяння Сименса, який був давнім другом Гельмгольца (10.11.1884 року вони породичались: старший син Сименса Арнольд Вільгельм полюбив доньку Гельмгольца Еллен) і разом з ним є співзасновником ФТІ. Організаційно ФТІ поділявся на дві частини, діяльність однієї була зорієнтована на розв'язання нагальних наукових завдань а другої – технічних. Такий розподіл функцій від-

РЕЗОНАТОРИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Рис. 4. Резонатори Гельмгольца, що досі використовують на фізичному факультеті Техаського університету. Їх виготовили 1890 року.





повідав і соціальним запитам, і науковим схильностям Гельмгольца, який у своїй творчій діяльності фізіолога і фізика хоча й тяжів до пошуку теоретичних зв'язків, однак шукав також шляхів практичного застосування результатів фундаментальних досліджень. Завдяки добрій організації та вмілому керівництву ФТІ впродовж декількох десятиріч був зразком для наслідування. Традиції, які заклав Гельмгольц, ФТІ дотримувався і в ХХ сторіччі.

На території ФТІ для президента та його сім'ї було побудовано будинок, а для Анни фон Гельмгольц було закладено садок. Будинок президента ФТІ став притягальним центром інтелектуальної та мистецької еліти Берліна.

Г. Гельмгольцеві 1883 року надали титул родового дворянина й відтоді його називали Герман фон Гельмгольц.

Гельмгольц підтримував тісні стосунки з іноземними науковцями і особливо з англійськими, серед яких він був настільки авторитетним, що лорд Кельвін навіть намагався запросити Гельмгольца 1870 року на посаду директора знаменитої Кавендишської лабораторії (Henry Cavendish, 1731–1810) в Кембриджі. У цьому місці доречно було б навести досить сумне судження Гельмгольца 1891 року про роль міжнародної співпраці науковців: "Наука та мистецтво – це єдині нитки зв'язку між цивілізованими націями".

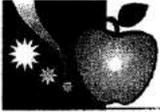
За ініціативою Гельмгольца у ФТІ розпочались дослідження теплового випромінювання чорного тіла. Це було важливо для стандартизації та калібрування джерел світла. Результати цих досліджень, в яких важливу роль відіграли співпрацівники ФТІ теоретик В. Він (Wilhelm Wien, 1864–1927) та експериментатори Луммер (Otto Richard Lummer, 1860–1925) і Курлбаум (Ferdinand Kurlbaum, 1857–1927), використав Планк. Вони стали підґрунтям 1900 року для квантової теорії випромінювання. Гельмгольц підтримував свого учня Планка і 1894 року запропонував обрати його до Королівської Пруської академії наук. Виникненню квантової фізики посприяли виконані також у ФТІ вимірювання питомої теплоємності твердих тіл за низьких температур, здійснені Нернстом (Walther Nernst, 1864–1941). Високий рівень ФТІ засвідчено дев'ятьма нобелівськими лавреатами, які працювали тут.

Праця Гельмгольца в ФТІ вимагала від нього великих зусиль, тому він, зберігши за собою читання курсу теоретичної фізики, передав 1888 року керівництво університетськими кафедрами та Інститутом фізики Кундту, який теж був учнем Магнуса.

Наприкінці свого життя Гельмгольц намагався увести у фізику – механіку, термодинаміку та електродинаміку – принцип найменшої дії. Він шукав принцип, навколо якого можна було б об'єднати всі групи фізичних теорій. Хоча він не зміг розв'язати цього завдання, але він започаткував попередні дослідження, до розвитку яких згодом приєднались Планк і Айнштайн, який тривалий час працював над створенням єдиної теорії поля, та інші теоретики ХХ сторіччя.

У серпні 1893 року в Чикаго відбувся міжнародний електротехнічний конгрес, присвячений затвердженню електричних одиниць вимірювань. Оскільки ця проблема відповідала інтересам науки та індустріальним потребам, то Гельмгольц попри свої поважні літа і стан здоров'я та всупереч застереженням лікарів вважав, що таки треба взяти участь у роботі конгресу. Він вирушив до США разом із дружиною, яка на прохання міністра супроводжувала чоловіка в поїзді і дбала про його здоров'я. Після закриття конгресу подружжя Гельмгольців здійснило поїздку по США, яка тривала довше місяця і перевтомила науковця. Повернення його до Європи розпочалось 06.10.1893 кораблем, який потрапив у бурю. Під час бурі Гельмгольц упав на трапі й травмував голову, що згодом мало фатальні наслідки. Прибувши до Берліна, Гельмгольц далі працював, хоча травма постійно про себе нагадувала і, ймовірно, стала причиною інсульту. Г. Гельмгольц помер 08.09.1894. М. Планк назвав 1894 рік чорним роком німецької фізики.

З легкої руки відомого мюнхенського портретиста Ленбаха (Franz von Lenbach, 1836–1904), який малював портрети і німецького канцлера Бісмарка (Otto von Bismarck, 1815–1898), і одного з останніх універсальних геніїв науки, Гельмгольца стали називати "райхсканцлером науки". В історії фізичної науки Герман фон Гельмгольц залишився "райхсканцлером фізики". Він завершив епоху класичної фізики.



Науковий спадок Германа фон Гельмгольца залишається невіддільною частиною фізики і світової культури.

Автор щиро вдячний співпрацівникам берлінського Інституту історії науки Товариства Макса Планка (Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin) проф. Гофману (Dieter Hoffmann) і д-ру Канту (Horst Kant) за консультації та підтримку.

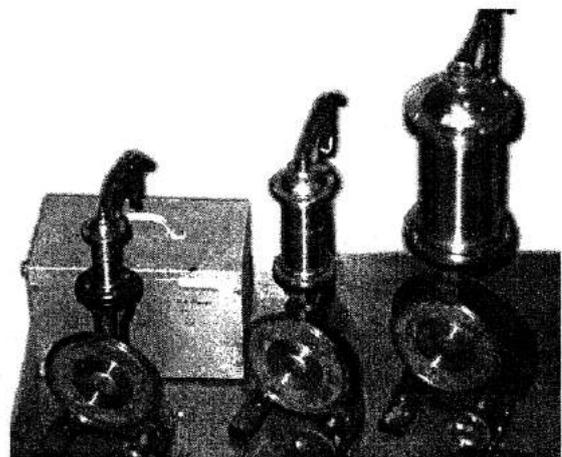
Література

1. H. v. Helmholtz. – Wissenschaftliche Abhandlungen. – Leipzig: Johann Ambrosius Barth, Bd. 1. 1882; Bd. 2. 1883; Bd. 3. 1895.
2. L. Koenigsberger. – Hermann von Helmholtz. 3 Bde. – Braunschweig: Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1902–1903.
3. А. В. Лебединский, У. И. Франкфурт, А. М. Френк. Гельмгольц (1821–1894) – Москва: Наука, 1966.
4. L. Kruger (Hrsg.). Universalgenie Helmholtz. Ruckblick nach 100 Jahren. – Berlin: Akademie Verlag, 1994, 422 S.
5. W. U. Eckert, K. Volkert (Hrsg.). Hermann von Helmholtz. Vorträge eines Heidelberger Symposiums anlässlich des einhundertsten Todestages. – Pflaffenweiler, Centaurus-Verlagsgesellschaft, 1996.
6. D. Hoffmann, H. Lubbig. Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894). Berliner Kolloquium zum 100. Todestag. – Braunschweig, PTB-Texte, Bd 5, Oktober 1996.
7. D. Hoffmann (Text). Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Hrsg.). – Hermann von Helmholtz. Klassiker an der Epochenwende. – Bonn: Thenea Druck, 1997.
8. M. Achilles. Historische Versuche der Physik. Funktionsfähig nachgebaut. – Frankfurt am Main: Edition Wotzel, 1996.
9. H. Kant. Hermann von Helmholtz, der "Reichskanzler der Physik" // Physik in der Schule, 1994. Bd. 32. Nr 10. S. 352–357.
10. H. Kant. Hermann von Helmholtz als Physiker // Physik in unserer Zeit, 1994. 25. Jahrg., Nr. 6. S. 284–289.
11. H. Rechenberg. Helmholtz als Physiker und Metrologe. In dem Buch "Hermann von Helmholtz (1821 bis 1894)". Braunschweig. (Hrsg. D. Hoffmann und H. Lubbig). PTB-Texte, Bd 5, Oktober 1996. S. 77–93.
12. A. Goldmann, J. Brodsky. Zur Theorie des Becquerel-Effektes. 1. Lichtelektrische Untersuchungen an oxydierten Kupferelektroden // Ann. Phys., 1914. Bd. 44. S. 849–900.
13. A. Goldmann. Zur Theorie des Becquerel-Effektes. 2. Grunzuge einer lichtelektrischen Theorie des Becquereleffektes // Ann. Phys., 1914. Bd. 44. S. 901–914.
14. A. Vogt. Hermann von Helmholtz' Beziehungen zu russischen Gelehrten. In dem Buch "Universalgenie Helmholtz. Ruckblick nach 100 Jahren". – Hrsg. Lorentz Kruger-Berlin: Akademie Verlag, 1994. S. 66–86.

*Герман фон Гельмгольц був Почесним доктором Університету св. Володимира (нині Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченка)

РЕЗОНАТОРИ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Рис. 5. Резонатори, в яких можна підлаштувати власну частоту. Шкали механізмів, що перелаштовують частоту резонаторів проградуйовано в частотах та музичних тонах. Ці прилади використовували для досліджень ще з 1902 року, як зазначено в каталозі Макса Коля із Хемніц (Німеччина) за 1928 рік





Про радіометр Крукса та Пулюя або т. зв. "світловий млинок"

Манфред Ахіллес

професор, Берлін, Німеччина

Світлові млинки можна було спостерігати у вітринах магазинів оптики. Просто диво, як завзято млинки працюють, обертаючись при сонячному освітленні, а в затінку стишують хід і незабаром зовсім зупиняються. Вільям Крукс (William Crookes, 1832–1919) створив 1875 року цю кумедну забавку, не знаючи, які фізичні явища визначають її рух. На його щастя, вакуумні помпи тоді працювали ще досить слабенько і саме цим забезпечили йому успіх, оскільки з ними він досягав лише переднього вакууму (форвакууму).

Отже, радіометр – це легесеньке коліщатко з чотирма крильцями. Кожне крильце з одного боку зафарбоване сажею в чорний колір, а з другого – має сріблясту барву. Такий млинок здатний обертатися на тонькому вістрі. Але це ще не все – млинок має бути розміщеним у скляній кулі. Раніше я гадав, що це зроблено для того, щоб невмілі дитячі пальчики не змогли пошкодити чутливого коліщатка. Однак насправді це не так: на сонці коліщатко обертається лише за умови "вакууму" в кулі, коли повітря зі скляної посудини відпомповано.

Безумовно, допитливі хочуть знати, чому обертається світловий млинок. Передусім тут можна було б думати про один з основних хвильових феноменів – тиск світла. Це явище було відоме ще з часів дослідження звукового тиску, який відкрив лорд Релей (Lord Rayleigh, 1842–1919), коли виміряв його за допомогою так званого диска Релея, що одержав назву "радіометр". Диск Релея складається з підвішеного на ниточці тонкого й дуже легкого листочка слюди, що обертається в звуковому полі.

Звуковий тиск можна обчислити. Зваживши, що інтенсивність звуку J буде:

$$J = \delta c, \quad (1)$$

де δ – густина енергії, а c – швидкість хвилі. Тиск звуку p дорівнює густині енергії δ , адже $\text{Н/м}^2 = \text{Н}\cdot\text{м/м}^3$. Тому з формули (1) можна записати також вираз для тиску звуку:

$$p = \frac{J}{c}. \quad (2)$$

Тиск звуку чи світла є дуже малим, бо максимальне і мінімальне зміщення у випадку гармонічної хвилі мають однакові модулі та взаємно компенсуються. Якщо тиск звуку ще можна якось виміряти, то для світла це виявляється майже неможливим через його велику швидкість.

Звернімося до тиску світла. Відомо, що максимальне значення інтенсивності світла на Землі дорівнює $1,4 \text{ кВт/м}^2$ (сонячна стала), і поділивши це значення на величину швидкості світла $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, одержимо тиск світла $4,66 \cdot 10^{-6} \text{ Н/м}^2$. Оскільки площа одного плаского крильця світлового млинка становить десь 1 см^2 , то виходить, що сила F дії на крильце становить тільки $0,466 \text{ нН}$ ($1 \text{ нН} = 10^{-9} \text{ Н}$). Це настільки мала сила, що вимірювання її є досить складним. Водночас, напрямки обертання млинка є доказом того, що він рухається не внаслідок тиску світла. Чорний бік крильця мав би переміщуватись уперед назустріч променеві світла, бо визначальним для обертання мав би бути тиск світла на блискучу поверхню завдяки подвоєнню імпульсу під час відбиття світла від неї. Отже, пояснювати обертання світлового млинка тиском світла помилково. До та-



кого ж висновку приводять обчислення імпульсу світлових квантів за Айнштайном.

Потрібно шукати інше пояснення. Спершу я висловлю думку: світловий млинок є ракетним двигуном дуже малої потужності, **тепловою машиною**, робота якої ґрунтується на законах термодинаміки та кінетичної теорії газів.

В одній з давно написаних студентських наукових праць було показано, що світловий млинок найшвидше крутиться тоді, коли тиск газу в колбі становить ~ 1 Па. За такої експериментально встановленої умови довжина вільного пробігу молекули має бути 4 мм. Далі припустимо таке: різниця температур між переднім і зворотним боками листочка становить 10 К, а газом у колбі є азот з молярною масою $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль (це майже відповідає повітрю). Сила, яка спонукає млинок рухатись, викликана тим, що молекули газу, які покидають чорну поверхню листочка після відбиття від нього, збільшують швидкість завдяки нагріванню, а чорні листочки в свою чергу отримують додатковий імпульс. Оскільки довжина вільного пробігу молекули становить лише 4 мм і зітк-

нення з іншою молекулою можливе тільки при більших відстанях, то ймовірність удару по листочку для швидшої молекули невелика. За умови нормального повітряного тиску це не відбувається, і тому млинок не обертається. За низького тиску млинок також не крутиться, бо кількість молекул, які беруть участь у створенні потрібної для обертання сили, замала, оскільки тиск газу пропорційно зменшується зі зменшенням концентрації молекул.

Силу F дії на листочок обчислюють за формулою Ньютона

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}, \quad (3)$$

де Δp – величина зміни імпульсу за проміжок часу Δt . Величина Δp враховує кількість молекул (за тиску 1 Па), які впродовж секунди зустрічаються з листочком, але вони становлять тільки третину від молекул, бо дві третини всіх молекул летять в інших напрямках. Врахувавши масу молекули азоту, одержимо для молекули приріст середньої квадратичної швидкості 9 м/с. Цей приріст зумовлений нагріванням і обчислюється за формулою:

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad (4)$$

диференціювання якої дає вираз для приросту

$$dv/dT = 0,5\sqrt{3k/mT}$$

і величину приросту

$$dv/dT = 0,86 \text{ м/сК}$$

за значень сталої Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, температури $T = 300\text{--}310$ К і маси молекули азоту $m = 4,7 \cdot 10^{-26}$ кг. Припустивши, що $\Delta t = 1$ с, знайдемо, що на листочок площею 1 см^2 діє сила величиною майже 1,9 мкН або 1900 нН. Якщо повернутись до раніше сказаного про тиск світла, обчислена величина якого становить лише 0,47 нН, то стає очевидним, що сила тиску термічного походження виявляється приблизно в 4000 разів більшою від сили тиску природного сонячного світла, яке, отже, не відіграє ніякої ролі для функціонування світлового млинка.

Отже, суть справи полягає лише в нагріванні листочків. Потрібну різницю температур можна



Рис. 1. Радіометр Пулюя (1900). Експонат знаходиться в Мюнхенському музеї (Німеччина) (Elektrisches Radiometer von/nach Puluj, Inv. Nr. 29227 (DA), Bild: BN_55239.tif)

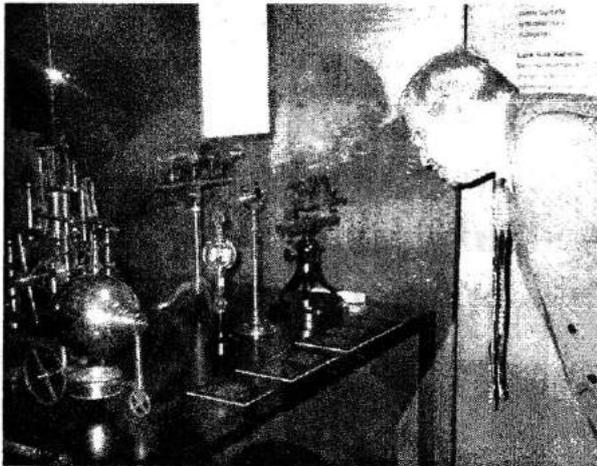


Рис. 2. Під час огляду експонатів виставки, присвяченої А. Айнштайнові в Берліні (світлина Наталії Проскури)

одержати також в інший спосіб. Іван Пулюй (Johann Puluj, 1845–1918) у 1877–1878 роках обстрілював листочки каналовими, тобто катодними променями і також досягнув нагрівання. Ілюстрація зображує світловий млинок-радіометр Пулюя, який експонується 2005 року в Берліні на виставці, присвяченій Айнштайнові. Зображений радіометр виготовила приблизно 1900 року фірма "Robert Goertz" у Ляйпцігу. Експонат виставки є власністю "Німецького музею" в Мюнхені. А. Айнштайн 1924 року також цікавився газовою динамікою світлового млинка, що і стало підставою до експонування радіометра на берлінській виставці Айнштайна (у так званому Палаці кронпринців на вулиці Унтер ден лінден)

Берлін,
20.09.2005

(Переклад Олександра Проскури)

Про це також читайте в статті В. Хороз, В. Лесівців. Радіометр (журнал "Світ фізики", 1999. № 4. С. 34–36.).

До Міжнародного року фізики в Берліні працювала виставка з 16 травня до 30 вересня 2005 року, присвячена А. Айнштайнові. "На цій виставці експонували зорову трубу Галілея, рурку Ленарда, схему Отто Гана тощо – від історичних експонатів і до найсучаснішої апаратури. Серед них експонували радіометр Пулюя поряд з пошвотілою сторінкою рукопису Айнштайна про фізику радіометра. Манускрипт Айнштайна прикріплено до вертикальної стіни прозорого куба, всередині якого розташовані експонати. Радіометр стоїть вертикально, з врахуванням паралаксу – якраз під манускриптом", – з листа О. Проскури. На прохання професора М. Ахіллеса із Мюнхенського музею (Німеччина) прислали світлину експоната (див. рис. 1). А. Айнштайн і І. Пулюй в один і той же час працювали в Празі й не виключено, що вони були знайомі, як свідчать деякі літературні джерела*.

Редакція журналу "Світ фізики" щиро вдячна пп. О. Проскури, М. Ахіллесу та іншим, хто долучився до надання та підготовки матеріалів.

<p>042 * Einstein Manuskript Zur Theorie der Radiometerkräfte. Faksimile Einsteins Beitrag zur Klärung der durch Licht hervorgerufenen Thermokräfte, die die Bewegung der von Crookes 1875 konstruierten und als Radiometer bezeichneten „Lichtmühle“ verursachen. Der Aufsatz wird 1924 leicht verändert in der Zeitschrift für Physik veröffentlicht. The Hebrew University of Jerusalem - Einstein Archives</p>	<p>042.7 Elektrisches Radiometer nach Puluj Firma Robert Goetze, Leipzig, um 1900 1875 konstruiert William Crookes ein Flügelrad, dessen Flügel durch Licht, aber auch durch Kathodenstrahlen in Drehung versetzt werden. Puluj experimentiert mit verschiedenen Anordnungen der Elektroden, unter anderem mit einem Flügelrad, das auf der Spitze der Kathode aufsitzt. Deutsches Museum München</p>
---	--

*Roman Gajda und Roman Plazko. Johann Puluj – Ratsel des universalen Talents (нім. мовою). – L'wiw: Eurowelt-Verlag, 2001; Іво Краус. Вільгельм Конрад Рентген (пер. з чеської). – Львів: Євросвіт, 2002.



Умови задач

XIV Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків 2005/2006 навчального року

*Наука витончує розум,
навчання загострює пам'ять.*

*Кузьма Прутков,
афоризм № 7*

1. "Піна"

Дослідіть природу зменшення висоти (осідання) "піни". Які умови найбільшого "часу життя" піни?

2. "Вічний двигун"

Видуйте невелику кульку пасти із кулькової ручки на поверхню води. Кулька почне рухатися. Чим буде визначатися найбільша швидкість її руху?

3. "Муар"

Якщо скласти разом дві решітки з дрібними отворами або два куски напівпрозорої тканини (наприклад, капрону) і подивитись напросвіт, то можна побачити характерні узорі. Яку інформацію можна почерпнути із побаченої картини?

4. "Пружна нитка"

Крізь отвір гудзика просуньте нитку і зробіть замкнуту петлю. Під час обертання гудзика, нитка починає закручуватися. Якщо тепер здійснювати зворотні поступальні рухи петельок нитки, то можна відчувати явну пружність з боку нитки. Дослідіть, від чого і як залежить "пружність" такої "пружини".



5. "Ймовірність"

Монета утримується над горизонтальною поверхнею. Які початкові умови гарантуватимуть однакову ймовірність випадання "орла" і "решки", після падіння і зупинки монети?

6. "Вологе прибирання"

Вологу шматку важко тягнути, коли вона повністю розстелена на підлозі. Від чого залежить сила опору руху?

7. "Вітроплан"

Аркуш паперу лежить на поверхні стола. Якщо Ви дутимете вздовж поверхні стола на цей аркуш, він почне ковзати по столі. Визначіть характеристики такого польоту.

8. "Електростатика"

Запропонуйте і зробіть пристрій, за допомогою якого можна було б виміряти поверхневу густину електричного заряду на пластмасовій лінійці після того, як її потерли тканиною.

9. "Плавання в піску"

Часто можна спостерігати, як металеві предмети "тонуть", а дерев'яні "спливають" у піску. Явище стає помітнішим, якщо ємності, де містяться предмети, вібрують. Дослідіть і опишіть це явище. Яке прикладне значення може мати розв'язок, який Ви запропонували?



10. “Перевернутий маятник”

Відомо, що верхнє нестійке положення маятника можна зробити стійким. Як можна зробити те ж саме для багаторазового маятника (наприклад, у випадку подвійного маятника: один маятник на вершині іншого)? Якщо так, то продемонструйте таку стабілізацію і визначте, від яких параметрів залежить це явище.

11. “Труби, які співають”

Труба, яка відкрита з обох кінців, встановлена вертикально. Використайте полум’я для генерації звуку в трубі. Дослідіть це явище.

12. “Обертання магнетів”

Дослідіть рух магнета, який скочується з нахиленої площини.

13. “Індикатор”

Якщо на фотоплівку, яка розміщена горизонтально емульсією догори, подихати, то незакріплений її кінець опускається. Проаналізуйте це явище і запропонуйте, що можна реєструвати на підставі цього явища. Пропонуйте пристрій, який Ви виготовили, суперників. Чим обмежується чутливість виготовленого приладу?

14. “Поруваті матеріали”

Дослідіть поведінку потоку рідини, коли вона падає на поверхню губчатого матеріалу.

15. “Теплота і температура”

За допомогою трубки пара передається із контейнера, в якому кипить вода, в насичений водяний солевий розчин. Чи можна таким способом нагріти рідину вище, ніж до 100 °С? Дослідіть це явище.

16. “Твердість”

Стальна кулька падає на горизонтальну поверхню. Якщо на аркуш копіювального паперу Ви покладете звичайний аркуш паперу, то на папері відіб’ється слід після падіння кульки. Запропонуйте шкалу твердості, яка ґрунтується на цій методиці.

17. “Магнетогідродинаміка”

У посудину налито рідину. Якщо посудину помістити в електричне та магнетне поле, рідина може почати рухатися. Дослідіть це явище і запропонуйте практичне застосування.

Задачі запропонували:

І. Анісімов, Б. Кременський (Київ),
І. Ненашев, І. Гельфгат (Харків),
О. Л. Камін (Луганськ), К. Главацький,
П. Віктор, В. Колебошин, С. Колебошин,
В. Кулінський (Одеса),
І. Казачек (Севастополь)

Лавреати Нобелівської премії з фізики 2005 року

За рішенням Шведської академії наук Нобелівською премією з фізики за 2005 рік нагородили науковців із США Роя Глаубера й Джона Голла та німецького науковця Теодора Генша ”за внесок у розвиток лазерної спектроскопії”. Глаубер із Гарвардського університету одержав половину Нобелівської премії, другу половину розділять між собою Дж. Голл із Колорадського університету й Т. Генш із Інституту Макса Планка.

Рой Глаубер, якому нині 80 років, ще 1963 року заклав основи квантової оптичної теорії. В заяві Нобелівського комітету зазначено, що науковець зумів пояснити принципову відмінність між гарячими джерелами світла – лампами розжарення з різною частотою і фазою та лазерами, яким властива визначена частота і фаза. Р. Глаубер – один з засновників перспективного наукового напрямку, який називають квантова оптика. Наукові результати Джона Голла і Теодора Генша дали змогу вимірювати коливання молекул з відносною точністю 10^{-15} . Науковці працювали над високоточним визначенням кольору молекул, тобто лазерної прецизійної спектроскопії. Ці дослідження вже одержали практичне застосування і були використані під час розроблення високоточних годинників і супутникових пристроїв глобального позиціонування. Праці Нобелівських лавреатів 2005 року відносять до галузі квантової оптики, яка обіцяє революцію в багатьох прикладних напрямках – створення квантових комп’ютерів, тривимірного телебачення, лазерів нового покоління. Квантово-інформаційні технології матимуть вплив на суспільний прогрес не менший, ніж телебачення та комп’ютери.



Умови задач

IV Всеукраїнського студентського турніру фізиків 2005/2006 навчального року

1. “Танок на розжареній сковороді”

Дослідіть поведінку краплини води на поверхні розжареної сковороди або праски. Знайдіть час її життя та основні динамічні характеристики, а також інтенсивність та спектр створюваного нею шуму.

2. “Як вимірювати вухом?”

Сконструуйте та продемонструйте роботу пристрою, що вимірює швидкість звуку в пружинному середовищі. Визначте клас точності цього приладу.

3. “Морський фонтан”

На морському узбережжі під час прибою можна спостерігати, як хвиля, що б’ється знизу об дерев’яний причал із щілинами, породжує в цих щілинах фонтанчики. Ці струмені можуть підійматися на висоту, що значно перевищує висоту гребеня самої хвилі. Поясніть це явище та опишіть його кількісно.

4. “Не пустуйте з сірниками?”

Якщо запалити сірник та поставити його вертикально голівкою догори, то інколи він не згоряє повністю. Яка частина сірника не згорить? Від чого це залежить?

5. “По променю світла промчавши вперед...”

Знайдіть коефіцієнт корисної дії фотонного двигуна. Як можна збільшити цей коефіцієнт?

6. “Під час безсоння”

Краплі води з несправного водогінного крану падають у глибоку посудину з водою. Визначте силу звуку, що при цьому виникає, та інші його характерні особливості. Як ці величини залежать від висоти падіння краплі?

7. “Ігри патріотів”

Знайдіть рівняння поверхні прапора, що майорить на вітрі. Побудуйте розв’язок цього рівняння.

8. “Газові закони”

При проведенні досліду для демонстрації газових законів у скляну посудину з водою опустили запаяну з верхнього кінця скляну трубку з нанесеною на неї шкалою. Через добу було помічено, що рівень води у трубці змінився на величину Δh . Визначте Δh та оцініть внесок найсуттєвіших чинників, які привели до такої зміни. Для чого можна використати такий пристрій?

9. “Магнетом по осцилографу”

Піднесіть магнет до екрану осцилографа. Що можна сказати про поле постійного магнету за відхиленням електронного променя. Чи можна так визначити відношення заряду електрона до його маси?

10. “Я уколів не боюсь”

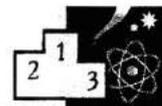
Наскільки глибокий вакуум можна одержати за допомогою медичного шприцу?

11. “Кульова блискавка”

Запропонуйте найоптимальнішу з вашого погляду модель і теорію кульової блискавки та обґрунтуйте її.

12. “Тримай мене, соломинко, тримай”

Завдяки яким особливостям структури забезпечується висока міцність соломинки? Оцініть кількісно переваги та недоліки такої структури. Охарактеризуйте перспективи її використання у виробництві промислових конструкцій.

**13. “Літаки – то перша справа”**

Якою має бути конструкція паперового літака та як його слід запускати в безвітряну погоду, щоб він летів якомога далі?

14. “Все вище, і вище, і вище”

На якому механізмі ґрунтується підняття води та поживних речовин деревами, висота яких може досягати майже 100 м? Запропонуйте модель насосу, в якому застосовують цей механізм. Опишіть його ефективність.

15. “Електрика для чайників”

Якщо автоматичні запобіжники в електролічильнику розраховані на недостатню потужність, то вони спрацьовують, коли електричний чайник починає закипати. Поясніть цей ефект. Як залежатиме від часу миттєва потужність, що її споживає чайник під час нагрівання води?

16. “Хмаринка в штанях”

Побудуйте теорію, що описує виникнення, форму, розміри та положення купчастої хмари у ясний день.

17. “Гіперболоїд інженера Гаріна”

Визначте інтенсивність лазерного променя, за якої стає можливим плавлення опромінюваної ним поверхні твердого тіла. Яку довжину хвилі краще для цього використовувати? Окремо розгляньте випадок металевої поверхні.

Задачі запропонували:

**А. Недибалюк (Вінниця),
О. Орлянський (Дніпропетровськ),
О. Шмельов (Донецьк), І. Апісімов,
С. Вільчинський, О. Кельник, В. Львов,
В. Овечко, О. Щур (Київ), Т. Фітьо (Львів),
В. Колебошин (Одеса), А. Ковальчук (Черкаси),
В. Головацький (Чернівці)**

Всеукраїнський з'їзд “Фізика в Україні”

З нагоди оголошення Організацією об'єднаних націй 2005 року “Роком фізики” НАН України, Міністерство освіти і науки України, Південний науковий центр НАН України, Українське фізичне товариство, Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова, Одеський національний університет ім. І. І. Мечнікова від 3 до 6 жовтня провели Всеукраїнський з'їзд “Фізика в Україні”, під час якого проаналізовано досягнення в різних галузях фізики та широке обговорення сучасних проблем фізики, визначено пріоритетні напрями її розвитку в Україні. В з'їзді брали участь відомі фізики з різних наукових установ, університетів України та ін. Учасникам з'їзду на першому пленарному засіданні запропонували такі доповіді: Ю. П. Степановський “Меморіальна Айнштайнівська лекція: праці Айнштайна з теорії відносності”, Ю. В. Слюсаренко, С. В. Пелетминський “Меморіальна Айнштайнівська лекція: Айнштайн та статистична фізика”, Л. П. Яценко “Меморіальна Айнштайнівська лекція: Квантова природа світла”, В. М. Локтев “Фізичні дослідження в Україні”, І. О. Вакарчук “Вплив робіт Айнштайна на сучасний світогляд”, І. М. Неклюдов “Ядерна фізика й енергетика”, В. Ф. Мачулін. “Атестація наукових кадрів вищої категорії”, В. А. Шендеровський “Внесок українців у світову фізику” та ін.

Варто відзначити організаторів такого представницького з'їзду, які створили найкращі умови для його роботи та ефективного спілкування фізиків з різних регіонів України та різних поколінь. До початку з'їзду було надруковано тези доповідей, в яких викладено узагальнені матеріали і нові результати, стан і перспективи досліджень у галузі фізики та основні її напрями: фізика в сучасному суспільстві – стан та досягнення; теорія відносності, астрофізика і космологія, фізика високих енергій, ядерна фізика; статистична фізика і кінетика, критичні явища, лазерна фізика і квантова електроніка; фізика в Україні – перспективи розвитку науки і проблеми освіти. Більшість доповідей буде опубліковано в наукових журналах України, зокрема, і в журналі “Світ фізики”.

Світлина на 1-й та 2-й сторінках обкладинки редакції журналу люб'язно надав Борис Букман.



Досліди Мудрагелика

Валерій Старошук,
учитель фізики СЗШ № 3 м. Києва

Заняття 6

Мудрагелик вчиться літати



У своїх снах Мудрагелик часто літав, тому не дивно, що його мрією було сконструювати апарат, на якому він міг би здійснитися в повітря, наче птах. Перші спроби були невдалими: зусиль м'язів Мудрагелика не вистачало навіть на те, щоб робити змахи крилами, не кажучи вже про те, щоб відірватися від землі.

Проте Мудрагелик не втрачав надії. Лежачи в лікарні, після невдалих спроб полетіти, і вивчаючи літературу з цього питання, він зі здивуванням дізнався, що 5 червня 1783 року брати Жозеф і Етьєн Монгольф'є (Montgolfier) з міста Аннон, запустили в повітря величезну кулю, яка здіймалася сама собою. Це втішило Мудрагелика, адже сил махати крилами він уже майже не мав.

Кулю брати Монгольф'є зробили з тканини, яка була проклеєна папером. Посередині кулі зробили пояс із тканини, від якого відходили мотузки, щоб утримувати кулю під час наповнення її димом. Унизу, біля горловини, містилася дерев'яна рама.

Куля була заввишки з триповерховий будинок і масою 200 кг. Запаливши багаття, Жозеф і Етьєн розмістили горловину над полум'ям. Вісім помічників тримали кулю за мотузки. Гаряче повітря наповнювало кулю. Вона заворушилася і повільно почала здійматися над людьми. За кілька хвилин люди побачили величезну кулю діаметром понад 10 м, на якій було великими літерами написано "ДО ЗІРОК". Побачивши, що помічники ледь втримують кулю, Жозеф віддав команду відпустити мотузки. Натовп приголомшено завмер. Куля стрімко здіймалася в небо. Брати і мешканці міста раділи, адже здійснилася мрія багатьох людей, тепер вони зможуть підійматися в повітря і літати. З часом повітря в кулі охолонуло, і вона повільно опустилася на землю на відстані майже 1 км від місця запуску. Чутка про те, що брати Монгольф'є запустили повітряну кулю, розійшлася по Франції. Король Людовік XVI віддав наказ Паризькій академії наук вивчити цю справу





та доповісти йому. До міста Аннон поїхали посланці, які мали привезти братів до Парижа, щоб вони продемонстрували свій винахід.

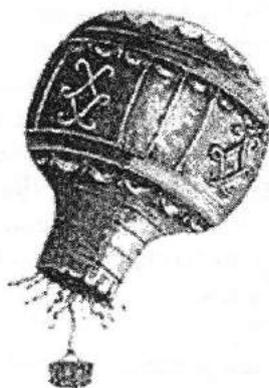


Рис. 1

Академія доручила відомому науковцеві Жаку Шарлю вивчити винахід братів і доповісти на зборах. Не знаючи, що брати використовували гаряче повітря, Шарль запропонував застосувати недавно відкритий газ водень, який у 14 разів легший від повітря. Так було створено аеростат – кулю, яка наповнена воднем або гелієм.

Не дочекавшись братів Могольф'є, Шарль разом із братами Роберами, один з яких винайшов каучук, зробив із шовку кулю діаметром 4 м. Щоб водень не пройшов крізь отвори в тканині, її просочили розчином каучука.

Запуск кулі відбувся наприкінці серпня 1783 року. Величезний нагуп парижан, який зібрався подивитися на цю подію, не зміг розігнати навіть си-



Рис. 2. Сучасна повітряна куля

льний дощ. Кулю заповнили воднем, і вона стрімко понеслась догори. Люди побачили, як вона занурилася в хмару, винирнула з неї і далі миттєво зникла. Куля луснула, наче її й не було. Шарль одразу зрозумів свою помилку, адже ми живемо на дні повітряного океану, де тиск найбільший. З підйомом тиск атмосфери зменшувався, а в середині кулі він ставав більшим від зовнішнього. Це призвело до того, що куля роздулася, і її оболонка луснула. Згодом Шарль здійснив багато польотів на своїх кулях, піднімаючись на висоту майже 3 км.

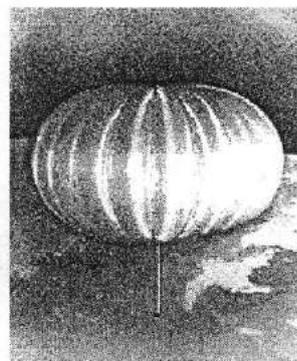


Рис. 3

Цікаво, що в наші часи Національна агенція з аеронавтики в США (NASA) розглядає проєкт використання аеростатів, як дешевої альтернативи дослідницьким супутникам. Такий аеростат (рис. 3) буде підійматися на висоту до 200 км і робити кілька обертів навколо Землі.

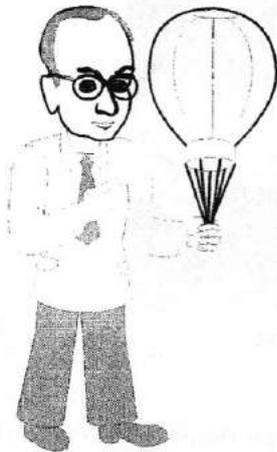
Цікаві історичні факти

Кожна куля братів Монгольф'є наближала їх до мрії – польоту людини. Побудована нова куля мала розміри 22,7 м за висотою і 15 м у діаметрі. Знизу кулі кріпилася кільцева галерея, яка була розрахована на двох пілотів. Всередині галереї було підвішене вогнище для спалювання соломи. Це дало змогу зробити політ тривалішим і частково керованим. Король Франції Людовик XVI заборонив авторам проєкту брати особисту участь у польоті. Тоді існувала думка, що серце людини може зупинитися на висоті. Саме тому



першими пасажирами були тварини. Король запропонував зробити спробу вперше злетіти двом злочинцям, яких мали стратити за вироком короля. Пілатр де Розье, який брав активну участь у створенні монгольф'єра, сказав королеві, що буде дуже прикро, якщо до історії повітроплавання ввійдуть імена якихось злочинців і запропонував себе як пілота. Другим пілотом став прихильник повітроплавання маркіз д'Арланд. 21 листопада 1783 року вперше в історії людства було здійснено політ на монгольф'єрі, який тривав 25 хвилин. Куля пролетіла майже 9 км.

Професор Шарль, намагаючись довести, що майбутнє за шарльєрами, побудував шарльєр, який мав спеціальний клапан в оболонці, баласт, якір для приземлення і гондолу для людей. Першого грудня 1783 року він разом з одним з братів Роберів стартував на шарльєрі діаметром понад 9 м. Пролетівши понад 40 км, вони приземлилися, і далі Шарль продовжив політ сам. Шарльєр пролетів ще 5 км, піднявшись на рекордну для того часу висоту – майже 3 км. Дослідник успішно приземлився, зробивши перший в історії повітроплавання політ на аеростаті з оболонкою, що заповнена воднем.



Я пропоную вам самостійно виготовити повітряну кулю. Для цього вам будуть потрібні аркуші цигаркового паперу (він тонкий і легкий), ножиці, клей і терпіння.

Спочатку склейте 10 однакових смуг (рис. 4). Кожна зі смуг складається з чотирьох аркушів цигаркового паперу. Аркуші акуратно склейте із напуском 3–4 мм. Розміри викрійки подано в міліметрах із урахуванням напуску на рис. 5.

Викрійку накладіть на смуги, що залишилися, та обведіть олівцем. Виріжте за контуром ще дев'ять деталей кулі. Акуратно склейте деталі між собою. Спочатку клеїте деталі попарно (рис. 6), далі зробіть дві півкулі з п'яти деталей (рис. 7) і склейте їх між собою. Останні дві півкулі клеїти найважче. Не поспішайте й уважно дивіться, щоб не було отворів у місцях склеювання. Як би старанно ви не робили, вгорі кулі буде отвір, який треба заклеїти маленьким кружечком. Край знизу потрібно підрівняти і наклеїти на них смужку паперу, щоб утворилося кільце.

Щоб наповнити кулю, потрібна металева труба завдовжки 40–50 см, і діаметром 5–8 см та 5–6 таблеток сухого пального. Як трубу можна використати фольгу, згорнуту у циліндр, яку бажано розмістити на відстані 5 см над пальним (рис. 8).

Перед тим, як наповнити кулю, витисніть з неї холодне повітря. Запускають кулю, як мінімум, двоє учнів. Один підтримує кулю згори, а другий – знизу так, щоб труба входила в кулю (рис. 9). Захоплення від польоту буде надзвичайним! Ви не пошкодуєте, що витратили час на створення кулі (рис. 9–12)!

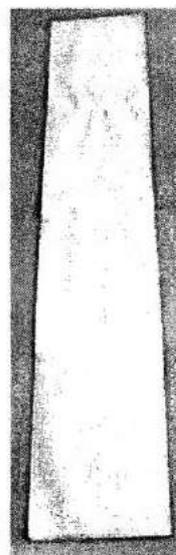


Рис. 4

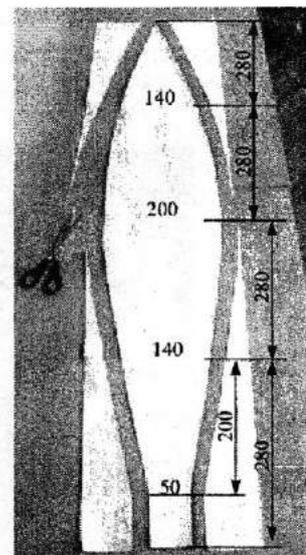


Рис. 5



Рис. 6

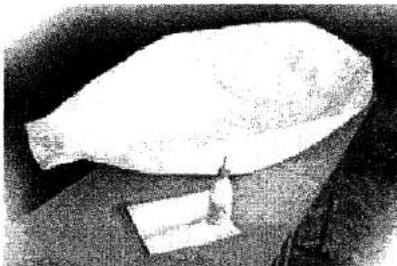


Рис. 7

Увага!

Демонстрацію ліпше виконувати на подвір'ї школи за тихої погоди, вживши запобіжних заходів із пожежної безпеки!

Поради

Не робіть кулю з газетного паперу і меншого діаметра – вона не полетить. Намастіть клеєм невеликі ділянки завдовжки до 10 см. Після склеювання зачекайте, доки клей висохне

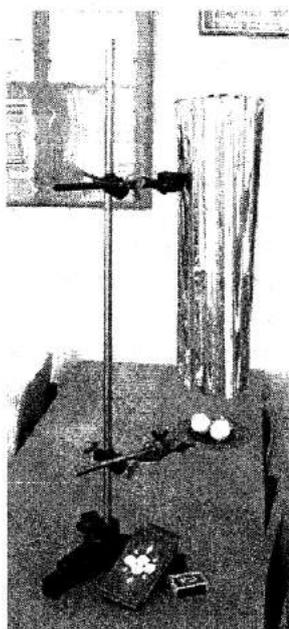


Рис. 8

Пояснення явища

На кулю діють виштовхувальна сила Архімеда (спрямована догори) і сила тяжіння, яка діє на оболонку і гаряче повітря в кулі (спрямована донизу). Якщо сила Архімеда більша від сили тяжіння, то куля здіймається догори.



Рис. 9

Запитання

1. Чому злітає повітряна куля?
2. Чому взимку куля підіймається вище, але літає за часом менше, ніж влітку?
3. Як керують польотом повітряних куль?
4. Чому, коли куля починає падати, вона переважно перевертається отвором догори?

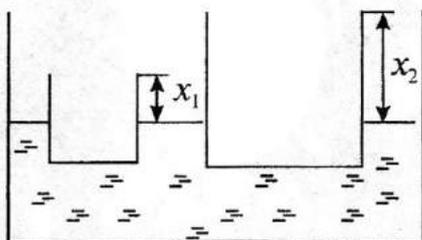
Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2005 р. (м. Хмельницький)

(Умови задач Всеукраїнської олімпіади з фізики за 2005 р.
дивіться в журналі „Світ фізики”. 2005. № 2. С. 19–22)

8-й клас

Задача 1.

Визначмо який куб більше виступатиме з води.



$$m_1 g = \rho g a_1^2 (a_1 - x_1),$$

$$x_1 = a_1 - \frac{m_1}{\rho a_1^2} = 0,095 \text{ м.}$$

$$m_2 g = \rho g a_2^2 (a_2 - x_2),$$

$$x_2 = a_2 - \frac{m_2}{\rho a_2^2} = 0,1975 \text{ м.}$$

$x_2 > x_1$ – очевидно є зміст долити води в другий кубик.

$$\Delta m = \rho \Delta V = \rho (x_2 - x_1) a_2^2 = 4,1 \text{ кг.}$$

Задача 2.

Очевидно, що зростання рівня речовини в калориметрі пов'язане з утворенням льоду (густина льоду менша від густини води). Нехай площа дна калориметра S . Тоді зміна рівня в першому калориметрі буде

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{V_{\text{л}} - V_{\text{в}}}{S} = \frac{\Delta m}{\rho_{\text{л}} S} - \frac{\Delta m}{\rho_{\text{в}} S},$$

$$\Delta h = \frac{\Delta m}{S} \cdot \frac{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}} \rho_{\text{в}}}.$$

Очевидно, що $\left(\frac{\Delta m}{S}\right)_{\text{макс}} = \frac{h}{3} \rho_{\text{в}}$ тоді коли вся

вода, що була перелита, замерзла.

$$\frac{\Delta m}{S} = \Delta h \frac{\rho_{\text{л}} \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} = 45 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2},$$

$$\left(\frac{\Delta m}{S}\right)_{\text{макс}} = 250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Отже, не вся перелита вода замерзла, і в калориметрі встановилася фазова рівновага „лід–вода”, а тому температура суміші $T_{\text{к}} = 0^\circ \text{C}$.

$$\Delta m = \Delta h S \frac{\rho_{\text{л}} \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}}.$$

Встановивши теплову рівновагу, можемо записати рівняння теплового балансу:

$$m_{\text{л}} c_{\text{л}} (T_{\text{к}} - T_{\text{л}}) = m_{\text{в}} c_{\text{в}} (T_{\text{в}} - T_{\text{к}}) + \Delta m \lambda,$$

$$m_{\text{л}} = S \frac{h}{3} \rho_{\text{л}}, \quad m_{\text{в}} = S \frac{h}{3} \rho_{\text{в}}.$$

$$T_{\text{л}} = T_{\text{к}} - \frac{\Delta m \lambda + m_{\text{в}} c_{\text{в}} (T_{\text{в}} - T_{\text{к}})}{m_{\text{л}} c_{\text{л}}},$$

$$T_{\text{л}} = - \frac{\lambda \Delta h S \frac{\rho_{\text{л}} \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} + S \frac{h}{3} \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (T_{\text{в}} - T_{\text{к}})}{S \frac{h}{3} \rho_{\text{л}} c_{\text{л}}} = -54,6^\circ \text{C}.$$

Задача 3.

Варто зауважити, що вольтметр завжди показуватиме напругу між точками 1 та 2, і його покази не відрізнятяться від спаду напруги на резисторі R . Якщо ж розглянути задачу про те, яким має бути опір вольтметра, щоб він вносив у коло (рис. 2) зміну напруги на резисторі R не більше ніж на 2%, то її розв'язок подано нижче.

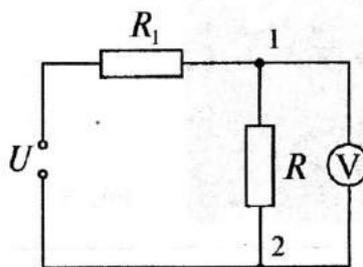


Рис. 1.

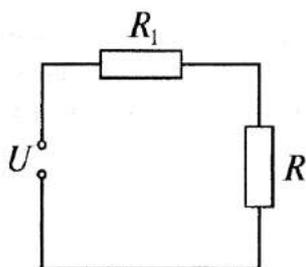


Рис. 2.

Струм у колі на рис. 2 буде:

$$I = \frac{U}{R_1 + R}$$

А напруга на резисторі R :

$$U_R = IR = \frac{UR}{R_1 + R}$$

При під'єднанні реального вольтметра опір ділянки 1–2 (рис. 1):

$$R_{12} = \frac{rR}{r + R},$$

де r – опір вольтметра.

Струм через резистор R_1 :

$$I' = \frac{U}{R_1 + \frac{rR}{r + R}},$$

а напруга U_{12} :

$$U_{12} = I' \cdot \frac{rR}{r + R} = \frac{U \frac{rR}{r + R}}{R_1 + \frac{rR}{r + R}}$$

очевидно менша від U_R . Розгляньмо граничний випадок:

$$U_{12} = 0,98 \cdot U_R,$$

$$\frac{U \frac{rR}{r + R}}{R_1 + \frac{rR}{r + R}} = \frac{UR}{R_1 + R}$$

З останнього рівняння

$$r = \frac{0,98R_1R}{0,02(R_1 + R)} = 3675000 \text{ Ом.}$$

Отже, внутрішній опір вольтметра має бути не меншим за 3,675 МОм.

Задача 4.

За температури води вище ніж 4°C у першому випадку відбуватиметься інтенсивне охолодження теплої води завдяки виникненню конвекційні про-

цесів (рис. 1), в другому випадку конвекційні потоки не виникатимуть, рідина охолоджуватиметься лише завдяки теплопровідності (рис. 2). Тому в першому випадку процес охолодження відбудеться швидше ($\tau_1 < \tau_2$).

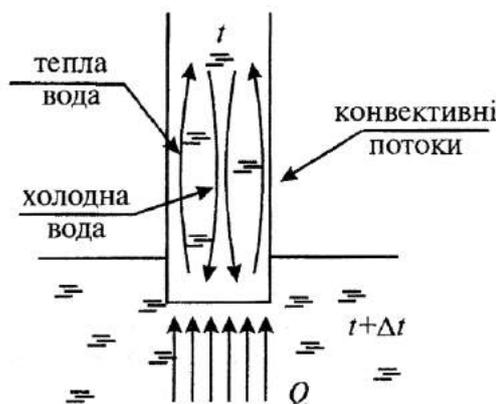


Рис. 1. Інтенсивне охолодження завдяки конвекційним потокам

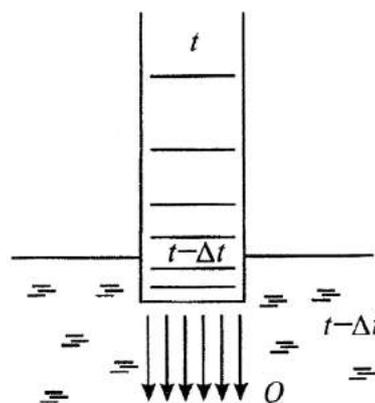
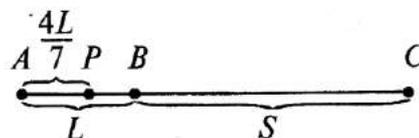


Рис. 2. Поступове безконвекційне охолодження

Однак, зважаючи на аномальну залежність густини води від температури (нижче від 4°C густина холодної води менша від густини теплої), конвекційні потоки утворюватимуться у другому випадку. Отже, $\tau_1 > \tau_2$.

Задача 5.

В обох випадках час руху автомобіля і пішохода до точок B та A однаковий. Позначмо v – швидкість пішохода, а u – швидкість автомобіля.



Тоді

$$\frac{3}{7}L = \frac{S}{u}, \text{ та } \frac{4}{7}L = \frac{S+L}{u}.$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, одержимо

$$\frac{u}{v} = 7.$$

9-й клас

Задача 1.

Рух точкової маси m описується другим законом Ньютона

$$\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + m\vec{g} = m\vec{a}_C.$$

де \vec{a}_C – повне пришвидшення тіла m у точці C . Зрозуміло, що сила тяжіння напрямлена вертикально донизу, а сили натягу ниток – уздовж ниток. З'ясуємо куди напрямлене пришвидшення \vec{a}_C . Для цього спочатку визначимо напрям швидкості \vec{v}_C тіла у точці C . Відомо, що у напрямках уздовж ниток швидкість руху тіла v_1 та v_2 . Оскільки нитки нерозтяжні, то ці швидкості мають бути проєкціями вектора повної швидкості \vec{v}_C . Знайдемо його величину та напрям. Початок, зрозуміло, лежить у точці C . А кінець має лежати на перетині перпендикулярів до прямих CA та CB у точках, де розташовані кінці векторів \vec{v}_1 та \vec{v}_2 .

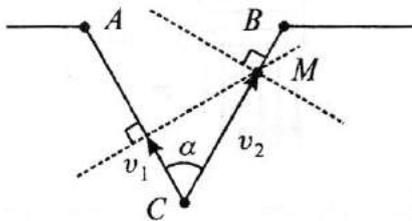


Рис. 1

Бачимо, що при $AB = BC = CA$ кут $\alpha = 60^\circ$, $v_2 = 2v_1$, а точка перетину перпендикулярів M одночасно є кінцевою точкою вектора \vec{v}_2 , отже, $\vec{v}_C = \vec{v}_2$.

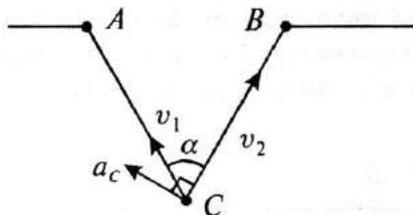


Рис. 2

Оскільки нитки нерозтяжні, й у напрямі CB швидкість стала, то напрям пришвидшення у точці C може бути лише перпендикулярним до \vec{v}_2 .

Розглянемо рух точки C як поступальний відносно точки A зі швидкістю \vec{v}_1 та обертальний рух нитки AC відносно точки A :

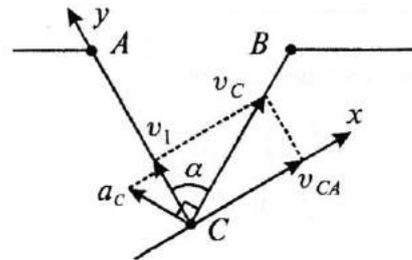


Рис. 3

$$\vec{v}_C = \vec{v}_1 + \vec{v}_{CA}.$$

Нормальне пришвидшення відносно точки A :

$$a_{CA}^n = \frac{v_{CA}^2}{CA},$$

а відповідно повне пришвидшення: з попереднього рисунка:

$$a_C = \frac{a_{CA}^n}{\cos(90^\circ - \alpha)} = \frac{v_{CA}^2}{CA \cdot \cos(90^\circ - \alpha)} = 2,89 \frac{m}{c^2}.$$

Виберімо систему координат, в якій вісь y напрямлена вздовж нитки AC , а вісь x перпендикулярна до неї. Запишемо другий закон Ньютона для проєкцій сил та пришвидшень на ці осі (див. рис. 4):

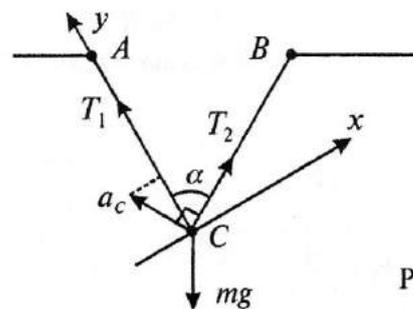


Рис. 4

$$T_1 + T_2 \cos \alpha - mg \sin \alpha = ma_C \sin \alpha, \\ T_2 \sin \alpha - mg \cos \alpha = -ma_C \cos \alpha.$$

Звідси,

$$T_2 = \frac{m(g - a_C) \cos \alpha}{\sin \alpha} = (4,00 \cdot m) \text{ Н},$$

$$T_1 = \frac{m(a_C - g \cos 2\alpha)}{\sin \alpha} = (9,00 \cdot m) \text{ Н}.$$

Задача 2.

Опір лампочки дорівнює відношенню горизонтальної координати точки до вертикальної. Він буде максимальним при напрузі 220 В,

$$R_{\max} = 220/0,46 = 478 \text{ Ом},$$

а мінімальним при кімнатній температурі, коли через лампочку проходить мінімально можливий струм. Знайдемо R_{\min} при напрузі $U = 10 \text{ В}$ ($R_{\min} = 10/0,12 = 83 \text{ Ом}$).

Оцінімо температурний коефіцієнт опору вольтфраму, вважаючи, що в цьому температурному діапазоні залежність його опору від температури, лінійна.

$$R = R_{\min} (1 + \alpha(t - t_{\min})),$$

$$\text{де } t_{\min} = 20^\circ\text{C}, t_{\max} = 2000^\circ\text{C}.$$

$$\text{Отже, } \alpha = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\min}(t_{\max} - t_{\min})} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}.$$

Задача 3.

За законом збереження енергії отримаємо, що потенціальна енергія тіла відносно дна піде на виконання роботи проти сил опору вертикальному рухові тіла:

$$mg(h_1 + h_2) = A_1 + A_2,$$

де A_1 – робота на подолання сил опору в першій рідині; A_2 – у другій.

Сили, що діють у вертикальному напрямі – це виштовхувальна сила, яку можна порахувати за законом Архімеда: $F_{A1} = \rho_1 g V$, $F_{A2} = \rho_2 g V$ (тут V – об'єм тіла), та сила в'язкого тертя чи лобового опору. Оскільки за умовою задачі тіло має обтічну форму, вважаємо, що робота сил в'язкого тертя чи лобового опору менша ніж робота сили Архімеда.

Отже, $A_1 = \rho_1 g V h_1$ та $A_2 = \rho_2 g V h_2$, і врахувавши, що $m = \rho V$, де ρ – густина тіла, отримаємо

$$\rho = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{h_1 + h_2}.$$

Задача 4.

Умова плавання баржі без води:

$$mg = \rho g a b (c - h).$$

Умова плавання баржі із шаром води висотою Δh :

$$mg + \rho g a b \Delta h = \rho g a b (c - h_1),$$

де h_1 – нова висота бортів над рівнем води.

З цих рівнянь маємо $c - h_1 - \Delta h = c - h$, тобто різниця рівнів води всередині біржі й поза нею, стала, що свідчить про те, що тиск води на отвір сталий і вода затікає в баржу з постійною швидкістю.

З рівняння Бернуллі

$$p_a - \rho g (c - h_1 - l) + \frac{\rho v^2}{2} = p_a.$$

$$v = \sqrt{2g(c - h)}.$$

З такою швидкістю треба заповнити об'єм

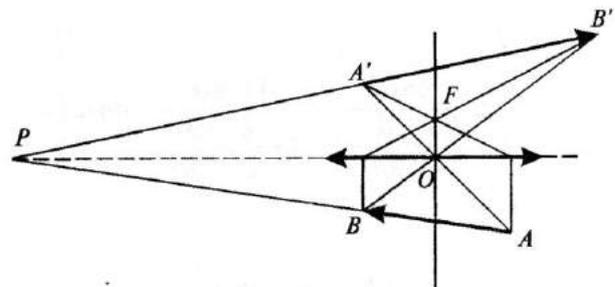
$$V = abh = Svt = \frac{\pi d^2 vt}{4},$$

Звідси,

$$t = \frac{4abh}{\pi d^2 \sqrt{2g(c - h)}} = 7,7 \cdot 10^6 \text{ с} \approx 89,3 \text{ дні}.$$

Задача 5.

Пустімо світловий промінь у напрямі AB . Потрапивши на лінзу, він піде по напрямі $A'B'$. Тобто, ми знайдемо точку, яка знаходиться на лінзі (точка P). Промінь, який виходить з точки A і потрапляє в точку A' не заломлюючись, проходить через оптичний центр лінзи. Так само через оптичний центр лінзи проходить промінь, який виходить з точки B і потрапляє в точку B' , не заломлюючись. Отже, оптичний центр лінзи лежатиме в точці перетину прямих AA' та BB' . А лінза лежатиме на прямій, що сполучає точку P з точкою O . Вісь лінзи проведемо перпендикулярно до лінзи через її оптичний центр. Фокус знайдемо, побудувавши хід променя паралельно до осі лінзи: або з точки A , або з точки B .



10-й клас

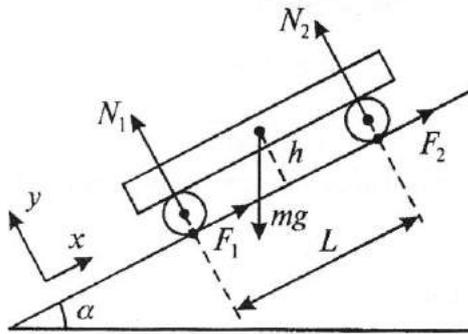
Задача 1.

Другий закон Ньютона при рівномірному русі:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{N}_1^0 + \vec{N}_2^0 + m\vec{g} = 0.$$

У момент гальмування:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + m\vec{g} = m\vec{a}.$$



Ї його проєкції на осі:

$$Ox: -mg \sin \alpha + F_1 + F_2 = ma,$$

$$Oy: -mg \cos \alpha + N_1 + N_2 = 0.$$

При рівномірному русі $F_1 = \mu N_1^0$, $F_2 = \mu N_2^0$. З рівнянь проєкцій знайдемо, що $\mu = \tan \alpha$. А при гальмуванні $F_1 = \mu N_1$, $F_2 = k N_2$. Отже,

$$\begin{cases} \mu N_1 + k N_2 - mg \sin \alpha = ma, \\ N_1 + N_2 - mg \cos \alpha = 0. \end{cases}$$

Для моментів сил відносно центра мас автомобіля:

$$N_2 \frac{L}{2} - N_1 \frac{L}{2} + F_1 h + F_2 h = 0.$$

$$\text{Звідси, } N_1 = \frac{L + 2kh}{L - 2\mu h} N_2, \quad N_2 = \frac{mg \cos \alpha}{1 + \frac{L + 2kh}{L - 2\mu h}}.$$

А відповідно пришвидшення:

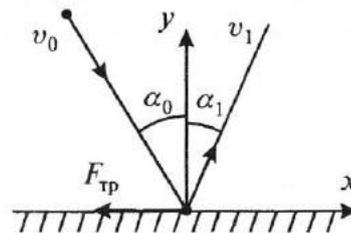
$$a = g \left(\mu \frac{\cos \alpha}{\frac{L - 2\mu h}{L + 2kh} + 1} + \frac{k \cos \alpha}{1 + \frac{L + 2kh}{L - 2\mu h}} - \sin \alpha \right) = g \left(\frac{k \cos \alpha - \sin \alpha}{1 + \frac{L + 2kh}{L - 2\mu h}} \right).$$

Звідси гальмівний шлях:

$$S = \frac{v_{\text{кінц}}^2 - v_{\text{поч}}^2}{2a} = -\frac{v^2}{2a} = \frac{v^2 \left(1 + \frac{L + 2kh}{L - 2\mu h} \right)}{2g(\sin \alpha - k \cos \alpha)}.$$

Задача 2.

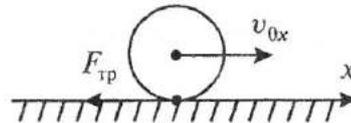
За час удару об стінку шайба втратить лише частину x-вої складової швидкості (див. рис.),



а для y-складової справедливий вираз:

$$v_0 \cos \alpha_0 = v_1 \cos \alpha_1.$$

Справді: така зміна імпульсу відбуватиметься впродовж деякого часу Δt , і при цьому, завдяки тому, що шайба має x-складову швидкості, при першому ударі шайба проковзуватиме по стінці.



З рисунка видно, що сила тертя $F_{\text{тр}}$ діє не на центр мас шайби, а, отже, момент сили тертя почне розкручувати шайбу.

Із наступними ударами процес відбуватиметься аналогічно – шайба набуватиме все більшої швидкості обертання навколо своєї осі, й процес обертання переважатиме над проковзуванням. Врешті-решт за деякого n-го удару проковзування не буде взагалі, тобто шайба буде лише котитися по стінці.

Для n-го удару:

$$\Delta p_x^n = m v_n \sin \alpha_n - m v_{n-1} \sin \alpha_{n-1}.$$

Сила, що виникає завдяки зміні такого імпульса розкручує шайбу:

$$-F_{\text{тр}}^n = \frac{\Delta p_x^n}{\Delta t}.$$

За другим законом Ньютона для обертального руху момент сили $F_{\text{тр}}$ буде:

$$-F_{\text{сп}}^n R = \frac{I((-\omega_n) - (\omega_{n-1}))}{\Delta t}$$

Тут знаки вказують на протилежний напрямок векторів і псевдовекторів до осі x . Додавши всі n рівнянь, які описують удари з проковзуванням, отримаємо

$$-I(\omega - \omega_0) = mR(v \sin \alpha - v_0 \sin \alpha_0).$$

Граничні умови: $\omega_0 = 0$ (шайба спочатку не крутилася); $v \sin \alpha = \omega R$ (проковзування завершилось). Звідси,

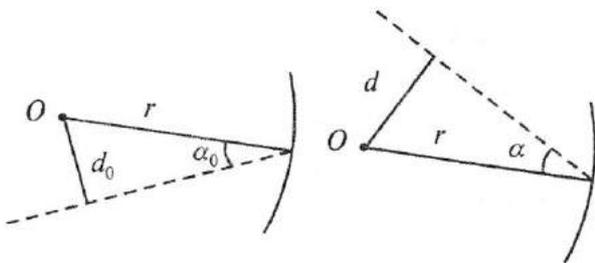
$$\frac{Iv \sin \alpha}{R} = mR(v_0 \sin \alpha_0 - v \sin \alpha),$$

Але $I = \frac{mR^2}{2},$

звідси, $v \sin \alpha = \frac{2}{3} v_0 \sin \alpha_0.$

Враховувавши, що $v \cos \alpha = v_0 \cos \alpha_0$, отримаємо:

$$\text{tg } \alpha = \frac{2}{3} \text{tg } \alpha_0.$$

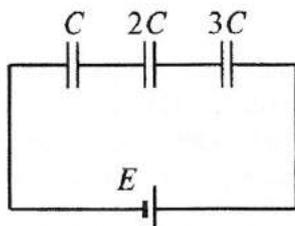


$$\frac{d}{\sqrt{r^2 - d^2}} = \frac{2}{3} \frac{d_0}{\sqrt{r^2 - d_0^2}},$$

звідси, $d = \frac{2d_0 r}{\sqrt{9r^2 - 5d_0^2}} = 3 \text{ м.}$

Задача 3.

Якщо конденсатори з'єднати послідовно й з них скласти електричне коло (див. рис.), то конденсатори матимуть однакові заряди.



$$q = C_n E,$$

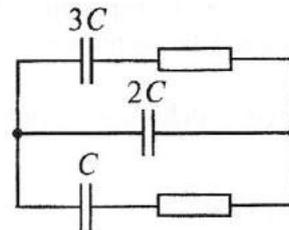
де C_n – повна ємність кола.

$$C_n = \frac{6}{11} C.$$

Повна енергія системи конденсаторів

$$W_1 = \frac{q^2}{2C_n} = \frac{3}{11} CE^2.$$

Після від'єднання джерела ЕРС і під'єднання резисторів (див. схему) відбудеться перезарядження конденсаторів.



За законом збереження заряду маємо:

$$q = q_C + q_{2C} + q_{3C}.$$

Після перезарядження струму в колі не буде, отже, напруги на всіх конденсаторах стануть однакові.

$$\frac{q_C}{C} = \frac{q_{2C}}{2C} = \frac{q_{3C}}{3C}.$$

Звідси, $q_C = \frac{1}{6} q = \frac{1}{11} CE,$

$$q_{2C} = \frac{1}{3} q = \frac{2}{11} CE,$$

$$q_{3C} = \frac{1}{2} q = \frac{3}{11} CE.$$

Енергія системи після перезарядження буде:

$$W_2 = \frac{q_C^2}{2C} + \frac{q_{2C}^2}{4C} + \frac{q_{3C}^2}{6C} = \frac{3}{121} CE^2.$$

Отже, під час процесу в колі виділиться така теплота

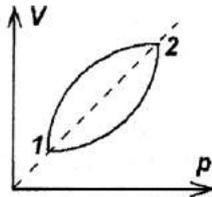
$$Q = W_1 - W_2 = \frac{30}{121} CE^2 \approx 6,7 \cdot 10^{-4} \text{ Дж.}$$

Задача 4.

ККД циклу теплової машини дорівнює відношенню роботи, яку виконало робоче тіло за цикл, до кількості теплоти, одержаної цим тілом від нагрівника за час циклу.

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q}$$

$$A_{\text{кор}} = A_{1 \rightarrow 2} + A_{2 \rightarrow 1}, \quad Q = Q_{1 \rightarrow 2} + Q_{2 \rightarrow 1}$$



Дуги $1 \rightarrow 2$ та $2 \rightarrow 1$ є чвертями кола, отже, робота газу на цій ділянці дорівнює

$$A_{1 \rightarrow 2} = \frac{\pi}{4}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) + p_1(V_2 - V_1),$$

$$A_{2 \rightarrow 1} = -\left[p_2(V_2 - V_1) - \frac{\pi}{4}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) \right].$$

де p_1 і V_1 та p_2 і V_2 – тиск та об'єм газу в точках 1 і 2, відповідно.

$$A_{\text{кор}} = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)(0,5\pi - 1).$$

За першим законом термодинаміки на ділянці $1 \rightarrow 2$, газ має отримати від нагрівника тепло (T_2 вища від T_1 , отже, газ виконує роботу)

$$\Delta Q_{1 \rightarrow 2} = \Delta U_{1 \rightarrow 2} + A_{1 \rightarrow 2}.$$

де $\Delta U_{1 \rightarrow 2}$ – зміна внутрішньої енергії газу на розглянутій ділянці циклу, яка дорівнює $\frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1)$.

На другій ділянці циклу температура газу знижується і над газом виконують роботу. Отже, газ віддає тепло.

Звідси,

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)(0,5\pi - 1)}{\frac{3}{2} \nu R(T_2 - T_1) + [0,25\pi(p_2 - p_1) + p_1](V_2 - V_1)}$$

Точки 1 і 2 лежать на прямій, яка проходить через початок координат. Тому,

$$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2}$$

Враховавши, що $pV = \nu RT$:

$$\eta = \frac{2(\pi - 2)(\eta - 1)}{(\pi + 6)\eta + 10 - \pi} = 0,13.$$

Задача 5.

Дивіться розв'язок задачі 5 для 9-го класу.

11-й клас

Задача 1.

Для оцінки вважаймо що зміна радіуса орбіти незначна ($h = 3,3 \text{ км} \ll r_{\text{орб}}$) і напрям дії сили збігається з напрямом руху, тобто робота сили тяги $A = F_{\text{тяги}} S$ (S – шлях подоланий станцією за час роботи двигунів). Ця робота піде на зміну повної механічної енергії станції.

$$A = E_2 - E_1 = \left(\frac{mv_2^2}{2} - G \frac{mM}{r_2} \right) - \left(\frac{mv_1^2}{2} - G \frac{mM}{r_1} \right) = F_{\text{тяги}} S = maS.$$

Швидкість руху на орбіті радіусом R :

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}},$$

$$\text{отже, } G \frac{mM}{2r_1} - G \frac{mM}{2r_2} = G \frac{mM}{2r_1 r_2} (r_2 - r_1) = maS.$$

Оскільки $h \ll r_{\text{орб}}$ то $r_1 \approx r_2 = R_3$ (для оцінки вважаймо що радіус орбіти мало відрізняється від радіуса Землі), то

$$G \frac{mM}{2R_3^2} h = maS.$$

$$S = v_{\text{ср}} t \text{ та } v_{\text{ср}} = \sqrt{G \frac{M}{R_3}}, \text{ отже}$$

$$a = \frac{h}{2t \sqrt{R_3}} \cdot \sqrt{\frac{GM}{R_3^2}} = \frac{h}{2t} \cdot \sqrt{\frac{g}{R_3}}.$$

$$\text{Звідси, } \frac{g}{a} = \frac{2t \sqrt{gR_3}}{h} \approx 2200.$$

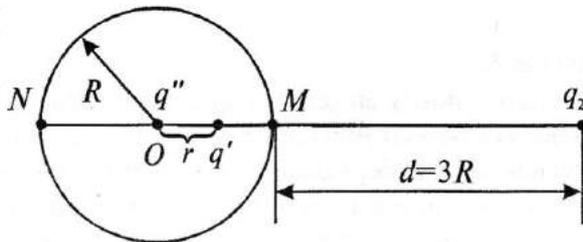
Задача 2.

Електричне поле, яке створює заряд q_2 , спричиняє перерозподіл заряду на поверхні кулі. Для врахування такого перерозподілу зарядів використовують метод електростатичних відображень. Суть

методу полягає у заміні розподіленого поверхневого заряду точковими, щоб ці умовні заряди разом із реальними точковими зарядами системи забезпечували еквіпотенціальність поверхні металічної кулі.

Для випадку зарядженої ізольованої провідної кулі, її замінюють двома зарядами, один з яких із міркувань симетрії розташовують на прямій NM , а другий у центрі кулі, причому сумарний заряд фіктивних зарядів має дорівнювати реальному заряду кулі.

Для знаходження величини цих зарядів запишімо вирази для потенціалу у різних точках поверхні кулі та в її середині.



$$M: \quad \varphi_M = k \frac{q_2}{3R} + k \frac{q'}{R-r} + k \frac{q''}{R}.$$

$$N: \quad \varphi_N = k \frac{q_2}{5R} + k \frac{q'}{R+r} + k \frac{q''}{R}.$$

$$O: \quad \varphi_O = k \frac{q_2}{4R} + k \frac{q_1}{R}.$$

$$q_1 = q' + q'', \text{ та } \varphi_M = \varphi_N = \varphi_O.$$

Звідси,

$$r = \frac{R}{4} = 2 \text{ см}, \quad q'' = \frac{q_2}{4} + q_1 = 0 \text{ нКл},$$

$$q' = q_1 - q'' = 1 \text{ нКл}.$$

Отже:

1. Сила взаємодії точкового заряду q_2 з кулею дорівнює:

$$F = k \frac{q_2 q'}{(3R + (R-r))^2} = -4 \cdot 10^{-7} \text{ Н}.$$

2. Знайдемо точку, в якій напруженість електричного поля дорівнює нулеві. Очевидно такі точки є всередині кулі. З міркувань симетрії відносно прямої MN така точка поза межами кулі може бути лише на прямій MN (лише на ній вектори напруженостей, які створюють заряди q' та q_2 є протилежно напрямленими).

Нехай т. A лежить на відстані L зліва від точки O ($|q'| < |q_2|$). Тоді $|\vec{E}_{q_2}| = |\vec{E}_{q'}|$, або

$$\left| k \frac{q_2}{(4R+L)^2} \right| = \left| k \frac{q'}{(L+r)^2} \right|.$$

Звідси $L = 28$ см.

3. $\varphi_A = 0$ В, якщо точка A розташована всередині кулі; $\varphi_A = k \left(\frac{q_2}{4R+L} + \frac{q'}{r+L} \right) = -30$ В, якщо точка A є за межами кулі.

Щоб знайти потенціал у довільній точці поблизу точки A , виберемо систему координат так, що її початок лежить у точці A , вісь x напрямлена у напрямі NM , а вісь y – перпендикулярно догори (на рисунку точки A не видно). Тоді

$$\varphi_{q_2} = k \frac{q_2}{\sqrt{(x-(L+4R))^2 + y^2}},$$

$$\varphi_{q'} = k \frac{q'}{\sqrt{(x-(L+r))^2 + y^2}},$$

$$\varphi = \varphi_{q_2} + \varphi_{q'} =$$

$$= k \frac{q_2}{\sqrt{(x-(L+4R))^2 + y^2}} + k \frac{q'}{\sqrt{(x-(L+r))^2 + y^2}}.$$

Для еквіпотенціальної поверхні $\varphi = \text{const}$.

$$\varphi = k \frac{q_2}{(4R+L) \sqrt{1 - 2 \frac{x}{(4R+L)} + \frac{x^2 + y^2}{(4R+L)^2}}} +$$

$$+ k \frac{q'}{(L+r) \sqrt{1 - 2 \frac{x}{(L+r)} + \frac{x^2 + y^2}{(L+r)^2}}.$$

Для точок, які знаходяться поблизу точки A , скористайтесь рівністю $(1 + \varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon + \frac{n(n-1)}{2} \varepsilon^2$:

$$\varphi = k \frac{q_2}{(4R+L)} \left(1 - \frac{1}{2} \left(-2 \frac{x}{(4R+L)} + \frac{x^2 + y^2}{(4R+L)^2} \right) \right) +$$

$$+ \frac{3}{8} \left(-2 \frac{x}{(4R+L)} + \frac{x^2 + y^2}{(4R+L)^2} \right)^2 \right) +$$

$$+ k \frac{q_2}{(L+r)} \left(1 - \frac{1}{2} \left(-2 \frac{x}{(L+r)} + \frac{x^2 + y^2}{(L+r)^2} \right) \right) +$$

$$+ \frac{3}{8} \left(-2 \frac{x}{(L+r)} + \frac{x^2+y^2}{(L+r)^2} \right)^2$$

Знехтуймо доданками вищих порядків (оскільки розв'язуємо в малому околі):

$$\varphi = k \frac{q_2}{(4R+L)} \left(1 + \frac{x}{(4R+L)} + \frac{x^2}{(4R+L)^2} - \frac{1}{2} \frac{y^2}{(4R+L)^2} \right) + k \frac{q'}{(L+r)} \left(1 + \frac{x}{(L+r)} + \frac{x^2}{(L+r)^2} - \frac{1}{2} \frac{y^2}{(L+r)^2} \right)$$

Зауважмо, що $q_2 = -4q'$, та $4R+L = 2(L+r)$ (в принципі можна здійснити чисельні підстановки)

$$\varphi = k \frac{q_2}{2(4R+L)} \left(1 + \frac{y^2 - 2x^2}{(4R+L)^2} \right)$$

Оскільки $\varphi = \text{const}$, то

$$y^2 = 2x^2 + \left(\frac{2(4R+L)\varphi}{kq_2} - 1 \right) (4R+L)^2 = 2x^2 + \text{const}$$

Ми одержали рівняння гіперболи. Однак у нашому випадку при $\varphi = \varphi_A$, отримаємо дві прямі $y = \pm x\sqrt{2}$. Для того щоб з'ясувати, яка поверхня буде у тривимірному випадку, врахуймо те, що задача симетрична відносно осі NM . Отже, еквіпотенціальну поверхню отримаємо обертанням цих прямих навколо осі $y = 0$ (NM).

4. Якщо в точку A розмістити заряд q_3 , то він викличе новий перерозподіл зарядів. Куля та заряд q_2 створюють у цій точці нульове поле. Отже, залишилось розв'язати задачу взаємодії q_3 та незарядженої ізолюваної кулі. Аналогічно до першого випадку вводимо два фіктивні заряди Q_1 на прямій NM та Q_2 у центрі сфери:

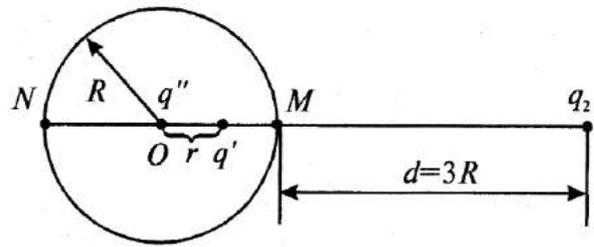
$$\varphi_N = k \frac{q_3}{L-R} + k \frac{Q_1}{R-r'} + k \frac{Q_2}{R},$$

$$\varphi_M = k \frac{q_3}{L-R} + k \frac{Q_1}{R+r'} + k \frac{Q_2}{R},$$

$$\varphi_O = k \frac{q_3}{L} + k \frac{Q_1+Q_2}{R}, \quad Q_1+Q_2 = 0, \quad \varphi_N = \varphi_M = \varphi_O.$$

$$\text{Звідси, } r' = \frac{R^2}{S} = \frac{16}{7} \text{ см, } Q_1 = -q_3 \frac{R}{S} = -\frac{6}{7} \text{ нКл,}$$

$$Q_2 = q_3 \frac{R}{S} = \frac{6}{7} \text{ нКл.}$$



Оскільки негативний заряд Q_1 ближче до позитивного q_3 ніж позитивний Q_2 , то q_3 притягатиметься до кулі з пришвидшенням

$$a = \frac{k}{m} \left(\frac{|q_3||Q_1|}{(L-r')^2} - \frac{|q_3||Q_2|}{L^2} \right) \approx 1,37 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Задача 3.

Запишімо повну механічну енергію нижнього диска, яка складатиметься з кінетичної енергії поступального та обертального рухів (миттєве значення швидкості центра мас v та ω – миттєва кутова швидкість у нерухомій системі координат, зв'язаній з точкою O_1), та потенціальної енергії, нульовий рівень якої вираховуватимемо відносно горизонталі, що проходить через точку O_1 (див. рис.).

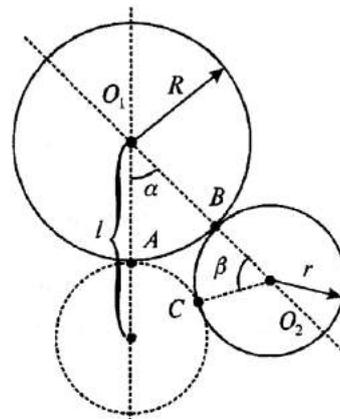
$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} - mgl \cos \alpha,$$

m – маса нижнього диска, I – його момент інерції.

$$\text{Очевидно, що } v = l \frac{d\alpha}{dt}.$$

Оскільки диски не проковзують, то $Rd\alpha = rd\beta$ і $R\alpha = r\beta$. Кут, на який повернеться точка дотику дисків у вибраній системі координат

$$\gamma = \alpha + \beta.$$





Отже, $\omega = \frac{d\gamma}{dt} = \left(\frac{R}{r} + 1\right) \frac{d\alpha}{dt} = \frac{l}{r} \frac{d\alpha}{dt}$.

Отже, для енергії E

$$E = \frac{ml^2}{2} \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2 + \frac{I}{2} \frac{l^2}{r^2} \left(\frac{d\alpha}{dt}\right)^2 - mgl \cos \alpha.$$

Ця енергія має залишатись сталою ($dE/dt = 0$):

$$\left(\frac{ml^2}{2} + \frac{Il^2}{2r^2}\right) \cdot 2 \frac{d^2\alpha}{dt^2} \frac{d\alpha}{dt} + mgl \sin \alpha \cdot \frac{d\alpha}{dt} = 0.$$

Звідси, або $\frac{d\alpha}{dt} = 0$, або $\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{mgl \sin \alpha}{\left(ml^2 + \frac{Il^2}{r^2}\right)}$.

Нас цікавить другий випадок, що описує коливання, які при малих α ($\sin \alpha \rightarrow \alpha$) будуть гармонічні.

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -\frac{mgl\alpha}{\left(ml^2 + \frac{Il^2}{r^2}\right)}.$$

Циклічна частота таких коливань

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{\left(ml^2 + \frac{Il^2}{r^2}\right)}}.$$

Зваживши на те, що для нашого випадку обертання диска $I = \frac{mr^2}{2}$ та $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$, отримаємо

$$T = \pi \sqrt{\frac{6l}{g}}.$$

Задача 4.

Електрони, які рухаються в міжелектродному просторі, за майже однакові проміжки часу стикаються з атомами і втрачають свою швидкість. Зіткнувшись, вони пришвидшуються до деякої швидкості і знову втрачають свою швидкість. Отже, в міжелектродному просторі вони рухаються з деякою постійною швидкістю v_0 (дрейфова швидкість).

Розгляньмо випадок, коли йони не спричиняють вибивання електронів з катода.

Тоді струм електронів у довільній точці x буде

$$I_e(x) = I_0 \exp(\alpha x),$$

де I_0 – струм електронів поблизу катода ($x_0 = 0$), (враховано, що $I_0 = en_0 v_0$; $I_e(d) = I_0 \exp(\alpha d)$).

Щоб забезпечити збереження сумарного заряду, повний струм у перерізі між катодом та анодом має бути однаковим:

$$I = I_n(x) + I_e(x) = \text{const}.$$

Однак поблизу анода струму йонів нема, тобто

$$I = I_e(d) = I_0 \exp(\alpha d).$$

Звідси,

$$I_n(x) = I - I_e(x) = I_0 [\exp(\alpha d) - \exp(\alpha x)].$$

Тепер врахуймо струм електронів, які вибиті з катода. Повний струм поблизу анода дорівнює електронному струму поблизу анода:

$$I'(d) = I'_e(d) = I_1 \exp(\alpha d).$$

Біля катода

$$I_1 = I_0 + \gamma I'_n(0).$$

Повний струм у перерізі між катодом та анодом

$$I' = I'_e(x) + I'_n(x) = \text{const}.$$

Із останніх трьох рівнянь

$$I_1 = \frac{I_0}{1 - \gamma(\exp(\alpha d) - 1)}.$$

Струм електронів

$$I_e(x) = I_1 \exp(\alpha x) = \frac{I_0 \exp(\alpha x)}{1 - \gamma[\exp(\alpha d) - 1]}.$$

Струм йонів

$$I_n(x) = I_1 [\exp(\alpha d) - \exp(\alpha x)] = \frac{I_0 [\exp(\alpha d) - \exp(\alpha x)]}{1 - \gamma[\exp(\alpha d) - 1]}.$$

Самостійних розряд виникне тоді, коли протікатиме струм при $I_0 = 0$. Очевидно, що це можливо за умови, коли знаменники у попередніх виразах теж дорівнюють нулеві.

$$\gamma[\exp(\alpha d) - 1] = 0.$$

Тобто електрон має йонізувати таку кількість атомів, які у свою чергу виб'ють з катода один електрон.

Задача 5.

Дивіться розв'язок задачі 4 для 10-го класу.

Віталій Лесівців,

асистент кафедри загальної фізики
Львівського національного університету
імені Івана Франка



ЛОС-АЛАМОС

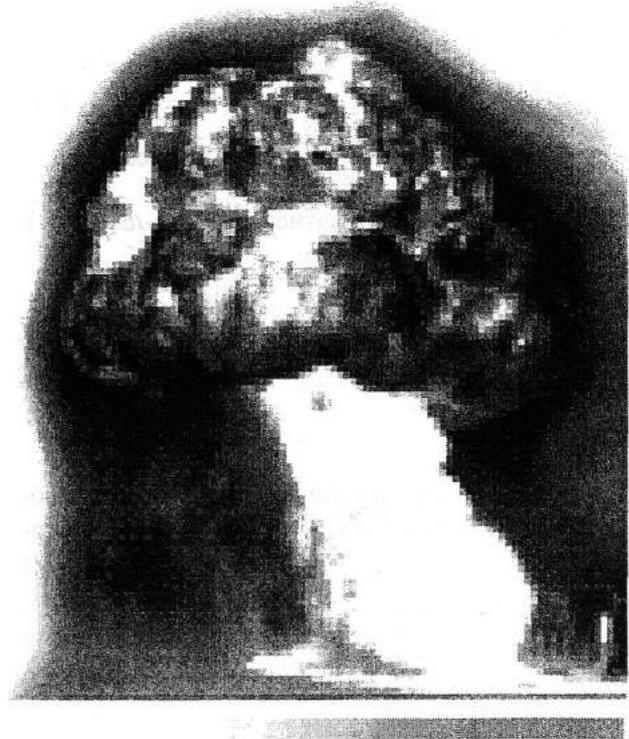
...До організації Мангеттенського інженерного округу конструкції самої бомби приділяли недостатньої уваги, оскільки не було ще відомо, як розв'язати проблему одержання урану-235 і плутонію, особливої потреби вивчати механізм атомного вибуху не було. Конструкції і розмірів бомби ще ніхто собі не уявляв.

Загальну відповідальність за розроблення бомби поклали на Комптона. У червні 1942 року він призначив Роберта Оппенгаймера безпосереднім керівником цих робіт. Оппенгаймер тоді працював у Каліфорнійському університеті в Берклі. Зібравши навколо себе невелику групу теоретиків, він приступив до розв'язання цієї проблеми.

Поступово вникаючи в деталі проекту і володіючи ще й неупередженістю, я дедалі ясніше розумів потребу термінового розвитку робіт у цій галузі. Не всі зі мною погоджувались. Деякі навіть вважали, що бомбу зможе створити за дуже короткий час невелика група кваліфікованих науковців та інженерів. Один з таких оптимістів сказав, що бомбу можуть виготовити двадцять науковців за три місяці. Ці думки, однак, були до небезпечного далекі від дійсності. Розроблення конструкції бомби треба було починати негайно.

Оппенгаймер керував дослідницькою групою в Берклі, проте Буш, Конент і я не могли вважати його керівником всього проекту У (так називали роботи зі створення атомної бомби). Перша моя зустріч із Оппенгаймером відбулася 8 жовтня в Каліфорнійському університеті. Ми з Оппенгаймером досить докладно обговорювали результати і методи його обчислень. Я запросив його до Вашингтона, де ми удвох зайнялися точним обліком того, що потрібно для створення бомби.

Водночас я й далі шукав найкращу кандидатуру для керівництва цими роботами. Я перечисляв кожному, з ким міг переговорити на цю тему, головні якості майбутнього керівника і просив їх пропонувати кандидатури. З погляду сьогодення,



кандидатура Оппенгаймера здавалась найвідповіднішою, оскільки він повністю виправдав наші сподівання. Працюючи безпосередньо під керівництвом Комптона, він очолював дослідження зі створення бомби, і, без сумніву, знав абсолютно все, що тоді було відомо в цій галузі. Однак його дослідження мали теоретичний характер і зводились, по суті, до грамотного оцінювання потужності вибуху в результаті реакції поділу ядер атомів. У таких практичних галузях, як розроблення конструкції вибухового пристрою і бомби, які б забезпечували її ефективний вибух, нічого не було зроблено. Мої сумніви підсилювались, оскільки ніхто з опитаних не висловлював особливого захоплення кандидатурою Оппенгаймера.

Я вважав, що він буде добрим керівником теоретичної частини роботи, але як він впорається з експериментальною чи адміністративною діяльністю, було для мене загадкою. Він був людиною великих розумових здібностей, здобув чудову освіту, користувався заслуженою повагою серед науковців, і я щораз більше схилився до думки, що він справиться з майбутньою роботою, оскільки в своїх пошуках я не міг знайти жодної кандидатури, яка б підходила краще для виконання цього завдання.



Серед науковців, які брали участь у Мангеттенському проєкті, найбільше підходив Е. Лоуренс. Він був видатним фізиком-експериментатором, а ця робота була якраз для експериментатора. На жаль, його не можна було відволікати від робіт у галузі електромагнетного розділення, де він був єдиним і незамінним фахівцем, оскільки це було б рівносильним припиненню цих робіт. Я не знав, і нині не знаю, кого б з науковців я міг назвати, крім Лоуренса, хто б міг успішно закінчити роботи, якими він тоді керував.

Комптон був блискучим фізиком і, до того ж, досвідченим адміністратором. Однак його не можна було відволікати від робіт у Чиказькій лабораторії. Юрі, хоча і був дуже великим фахівцем, але хеміком, і тому він не був підготовлений для цієї роботи. Серед науковців, які не були зайняті в проєкті, можна було знайти ще декілька кандидатур, однак всі вони були зайняті важливою роботою або за кваліфікацією їх не можна було порівняти з Оппенгаймером.

Кандидатура Оппенгаймера мене бентежила ще тим, що він не володів досвідом адміністративного керівництва і не був лавреатом Нобелівської премії. Останній недолік дуже применшував його вплив в очах колег, що, з мого погляду, було вельми прикро. Три наші головні лабораторії очолювали Нобелівські лавреати: Лоуренс – у Берклі, Юрі – в Колумбійському університеті та Комптон – у Чикаго. До того, ж навіть серед працівників Комптона було декілька лавреатів. Більшість науковців, з якими я обговорював цю проблему, вважали, що керівником проєкту У також мав бути лавреат Нобелівської премії.

Мені видається, що відтоді ставлення до лавреатів дещо змінилось. Повага, яку мають Нобелівські лавреати, нині вже не настільки висока, як у ті часи, переважно через те, що останнім часом було зроблено багато великих відкриттів, які не були відзначені Нобелівськими преміями. Однак тоді це був вагомий додатковий аргумент, який висували проти призначення Оппенгаймера.

Комітет із військової політики також не одностайно підтримав його кандидатуру. Врешті-решт, коли я зрозумів, що потенційна користь призначення Оппенгаймера оправдовує будь-який ризик порушення секретності, я 10 липня 1943 року надіслав головному інженерові Мангеттенського

округу такого листа: "У зв'язку з моєю усною вказівкою від 15 червня, я вважаю доцільним терміново оформити допуск Джуліусові Робертові Оппенгаймерові до секретної роботи, незалежно від тих відомостей, які Ви маєте про нього. Участь Оппенгаймера в роботах проєкту вкрай потрібна".

Я ніколи не вважав, що ми помилились, призначивши Оппенгаймера на цю посаду. Він упорався з дорученою йому роботою, – і впорався блискуче. Ніхто не може сказати, чи могли б ми знайти кращу кандидатуру. Мою думку поділяє більшість людей, які знайомі з оборонними роботами в Лос-Аламосі.

...Меті, яка була поставлена перед проєктом У, не було рівних в історії. Вона вимагала самовідданої праці інженерів, металургів, хеміків, фізиків, а також військових (дехто з них мав застосувати цю зброю в бойових умовах). І поки справа із здійснення проєкту істотно не зсунулася, загалом було важко навіть уявити собі, які найскладніші проблеми могли виникнути під час роботи в Лос-Аламосі. Тому терміни виконання окремих розділів проєкту були водночас і визначені, і невизначені. Бомбу треба було виготовити відразу ж, як одержать достатню кількість матеріалу, що ділиться, але коли це відбудеться, ніхто не міг сказати.

У пошуках організації, здатної виконати цю роботу, я уважно перебирав різні фірми й наукові установи, що мали досвід дослідницької роботи, і були завантажені не настільки, щоб не виконати нашого замовлення. Найвідповіднішою організацією виявився Каліфорнійський університет. Не можна сказати, що керівництво університету з великим завзяттям приєдналося до нас, але врешті-решт погодилося. Це відбулося лише після того, як я переконав Роберта Дж. Спроула (президента університету), що участь університету дасть змогу нам якнайкраще розв'язати це завдання.

Ядро Лос-Аламоської організації становили різні групи працівників із Берклі під керівництвом Оппенгаймера. Його було підсилено ще декількома науковцями, що запропонував Конент, який як президент Гарвардського університету мав величезний вплив. Було складно залучити гідних людей, оскільки провідні науковці країни були повністю зайняті важливими військовими проблемами. Науковці, як цивільні особи, мали цілко-



виту свободу у виборі роботи, тому їх доводилося переконувати перейти працювати до нас, до того ж цей перехід був пов'язаний з багатьма незручностями ізоляції та обмеженнями, які впливали із заходів щодо збереження таємниці. Багато з тих, кого ми потребували, звикли мешкати в містах або в околицях столичних центрів, перспектива проживання у віддалених безлюдних місцях видавалась їм зовсім непривабливою. Особливо багато клопотів нам створювали інженери й техніки, хоча їм якраз і доводилось жити в умовах суворої ізоляції.

Іншою складністю була відсутність фінансової зацікавленості в людей, в яких ми мали потребу. Після консультації з керівництвом ми вирішили, що дотримуючись загальної політики в керуванні науковими дослідженнями, ми не можемо пропонувати будь-якої підвищеної платні людям, які залучені до Мангеттенського проєкту.

Проте викладачам, оплату яким обчислювали, виходячи з розрахунку дев'яти робочих місяців на рік, надавали надбавку через збільшення кількості місяців роботи на рік до дванадцяти. У деяких випадках це призвело до нерівності в оплаті праці. Наприклад, якщо хтось прийшов до нас із державного університету, то на початку він одержував набагато менше, ніж деякі з його підлеглих, які до того працювали у великих наукових закладах на заході країни. Ця відмінність була така

велика, що я врешті-решт зробив виняток і підвищив їм заробітну плату до рівня інших працівників.

Конент запропонував, що якби ми підготували листа на ім'я Оппенгаймера, в якому було б чітко наголошено на відповідальності військових і науковців Лос-Аламоса, то це дуже допомогло б справі. Я гідно оцінив його пропозицію і невдовзі підготував такого листа. Разом зі мною його підписав і Конент. Лист було складено так, що дало змогу Оппенгаймерові, не порушуючи таємниці, пояснити науковцям завдання, яке стояло перед ними і переконати їх, що, працюючи на нас, вони не будуть відірвані від решти світу. Цей лист відображав великий досвід Конента в стосунках із науковцями, а також розуміння їхніх інтересів і прагнень.

У листі також повідомлялось про передбачення присвоєнтя всім цивільним працівникам військовій звання. Підставою до цього був успішний досвід подібної практики під час Першої світової війни, коли розробляли деякі речовини для хемічної війни. Конент брав участь в одній з цих розробок і вважав цю систему задовільною. Згодом ми відмовилися від цього.

Первинний проєкт лабораторії розробила компанія "Стоун і Вебстер" відповідно до конкретних вказівок, які давали Оппенгаймер, Е. М. Макміллан, Дж. Г. Менлі, обдарований Конент і я. Ці

1902–1903. Предтечі: П'єр і Марія Кюрі, Ф. Содді, Е Резерфорд

Першу інформацію про те, що усередині атомів приховані величезні запаси енергії, науковці одержали завдяки тому елементу, який згодом і підказав спосіб її одержання. Наприкінці XIX сторіччя Антуан Анрі Беккерель, який намагався знайти рентгеновське випромінювання під час флюоресценції солей урану, відкрив явище радіоактивності – беккерелеве проміння.

Відкриття Беккереля зацікавило багатьох. Імен більшості з них історія не зберегла, залишилися лише ті, хто досягнув помітних успіхів: у Франції, крім самого Беккереля, це були Марія і П'єр Кюрі, Поль Віллар, в Англії – Е. Резерфорд і Ф. Содді, в Німеччині та Австрії – Е. Швейтлер, С. Маєр, дещо згодом – О. Ган.

Однак першими, хто до кінця усвідомив, що потрапило їм до рук, були все ж Ф. Содді з Е. Резерфордом. І відбулося це не пізніше 1902–1903 років, тому що вже 1903 року Ф. Содді написав: "Атомна енергія, ймовірно, володіє незрівнянно більшою потужністю, ніж молекулярна енергія, ... і усвідомлення цього факту має примусити нас розглядати планету, на якій ми живемо, як склад вибухових речовин, що володіють неймовірною вибуховою силою". (За п'ять років Ф. Содді писав про можливість за допомогою атомної енергії "перетворити всю планету на квітучий сад", але це не мало ніякого значення, головні слова вже було сказано).



плани передбачали наявність наукового штату майже 100 осіб, при якому мала працювати трохи більша група інженерно-технічних працівників, працівників майстерень та адміністрація. У цих планах належно не було оцінено перспектив розвитку лабораторії, вже до липня 1945 року її персонал збільшився в багато разів.

Із розгортанням робіт у Санта-Фе, що розташований на віддалі майже 50 кілометрів від Лос-Аламоса, поширювалися найнеймовірніші чутки. Місцеві мешканці з великим зацікавленням спостерігали за будівництвом огорожі, обговорювали і міркували над цим, хто як міг.

Чутки щораз ставали ще жахливіші. Одна жінка, що жила біля шосе Санта-Фе – Лос-Аламос, регулярно писала до місцевої газети скарги на таємничі, з її погляду, явища, які вона помітила, і вимагала, щоб влада ужила заходів щоб розслідувати це. Щоночі вона бачила, яку бік Лос-Аламоса рухалася велика кількість вантажівок, а назад машини їхали зовсім порожніми. Для неї було очевидним, що це одна з махінацій діячів нового курсу, спрямована на витягання грошей із кишень платників податків.

Після того, як до проекту долучилась група офіцерів військово-морських сил їх стали бачити на вулицях Санта-Фе, поширилися чутки про те, що на пагорбі (так місцеві жителі називали Лос-Аламос) проводять роботи зі створення підводно-

го човна нової конструкції. Незважаючи на те, що найближчі, придатні для судноплавства водойми були на відстані декількох сотень кілометрів, ці чутки багатьом здавались правдоподібними.

Незалежно від того, наскільки б абсурдними не були ці розповіді, робітники, які працювали, в Лос-Аламосі, ніколи не підтверджували і не заперечували почутого.

Військовий комендант Лос-Аламоса полковник Дж. Р. Тайлер якось сів до потяга на найближчій від Санта-Фе залізничній станції й опинився у вагоні поряд із людиною в цивільному одязі, яка сіла на цій же станції. Він явно не помітив, що Тайлер сів у потяг водночас із ним, і, стишивши голос, сказав: "Якщо ми зможемо знайти відлюдне місце, я вам щось розповім".

Вони обидва вийшли на майданчик вагона, і ця людина розповіла полковникові таке: "Ви ніколи не повірите, які речі творяться на одному пагорбі у вісімдесяти кілометрах від Санта-Фе. Там проводять дуже секретні роботи, і все місце обнесено рядами високих дротяних загорож. А для того, щоб туди не пролізли непрошені гості, між загорожами випускають зграї злих африканських собак. До того ж, там тисячі, озброєних до зубів, охоронців. А скільки людей вже вбила охорона й розірвали пси! Жахлива річ! Але, мабуть, військовий час цього вимагає". Він розказав ще багато фантастичних речей і закінчив такими словами: "Зви-

1905. Релятивістський аргумент Айнштайна на користь атомної енергії

До початку випробувань першої атомної бомби в США було підготовлено до друку так званий "Звіт Сміта", який надрукували 1945 року, але вже після Хіросіми й Нагасакі під назвою "Офіційний звіт про розроблення атомної бомби під керівництвом уряду США". Вступ до цієї книжки починався з фрази про те, що айнштайнівське співвідношення $E = mc^2$ вибрано як головний принцип викладу всього подальшого¹.

Та й сам Айнштайн вважав, що цей фундаментальний наслідок теорії відносності, яку він розробив 1905 року, знайде експериментальне підтвердження саме під час вивчення радіоактивних речовин. Як у воду дивився.

¹Формула $E = mc^2$ з'явилась 1900 року, до створення теорії відносності. Написав її А. Пуанкаре, який виходив із того, що пласка світлова хвиля, що має енергію E , має імпульс \vec{p} , абсолютна величина якого відповідно до теореми Пойнтінга, дорівнює E/c . Використовуючи нерелятивістську формулу Ньютона для імпульса $\vec{p} = m\vec{v}$, і враховуючи, що для світла $v = c$, Пуанкаре* зробив висновок, що фотон мав володіти інертною масою $m = E/c^2$ (прим. гол. ред.).

*Poincare H.// Lorentz Festschrift. – Archieve Neerland, 1900. – Vol. 5. – P. 252.



чайно, я один з небагатьох мешканців Санта-Фе, які знають, що там коїться. І я сподіваюся, ви мені ні про що не розпитуватимете. Розумієте, я дав чесне слово, що не видам цих секретів”.

У цей час потяг підійшов до станції, до якої їхав Тайлер. Незнайомець вийшов разом з ним на платформу і запитав: ”Я забув запитати вас, де ви служите і яке у вас звання?”

– Я служу в Лос-Аламосі та керую військовим гарнізоном, – відповів офіцер. Оторопілий від жаху і почервонілий незнайомець промимрив:

– Я сподіваюся, що ви забудете все, що я вам розповів. Чесно кажучи, я нічого не знаю, що відбувається на пагорбі. Я просто повторив те, що чув.”

Оппенгаймер і декілька його працівників прибули до Лос-Аламоса 15 березня 1943 року, задовго до того, як були побудовані найпотрібніші споруди. Із секретних міркувань ми не хотіли розміщати цю групу в Санта-Фе і тому вжили всіх заходів, щоб поселити її в будинках для приїжджих недалеко від Лос-Аламоса. Умови життя цих перших працівників були аж ніяк не розкішними. Один з ветеранів тих днів писав: ”Без сумніву, всі працівники лабораторії та їхні сім’ї приїхали до Лос-Аламоса з повним ентузіазмом. Ці почуття підігрівались важливістю їхньої роботи, а також пов’язаним з нею піднесенням, а також змогою створити в умовах ізоляції енергійного і дружнього колективу.”

Реальність перших місяців аж ніяк не відповідала цим уявленням. Умови життя навколо Санта-Фе були важкі. Транспортне сполучення було

нерегулярне. Дороги були погані, не вистачало легкових автомобілів, а ті, що були, були в поганому стані. Тому ремонтникам часто доводилося виїжджати на дорогу. Ідалень на об’єктах ще не відкрили, обіди видавали сухим пайком. Легковий автомобіль, яким привозили обіди, щоразу ламався. Тривалість робочого дня не було визначено, працювали мало, а вночі зовсім не працювали.

До середини квітня телефонні розмови між об’єктом і Санта-Фе можна було вести лише, користуючись лініями лісництва. Телефоном можна було передати лише короткі вказівки, а обговорення, нехай навіть найпростіших питань, вимагало 12-ти кілометрової прогулянки.

На початку в Лос-Аламосі було два начальники – військовий комендант і директор. Військовий комендант (підполковник Гармон, якого змінив підполковник В. Ешбридж, а згодом полковник Тайлер), підкорявся безпосередньо мені та відповідав за належні умови життя, охорону державного майна та поведінку військового персоналу. Директор – Оппенгаймер – також був підпорядкований мені й відповідав за виконання технічної та наукової частин програми, а також забезпечення таємності.

Спочатку директор мав лише два адміністративні помічники: Е. Ю. Кондона із дослідницьких лабораторій компанії ”Вестінгауз” і В. Р. Денніса із Каліфорнійського університету (Кондон перебував на цій посаді до травня, а Денніс – до липня 1943 року. У травні 1943 року як спеціальний заступник Оппенгаймера зі зв’язку з штабом ко-

1911–1913. Резерфорд відкрив атомне ядро й виникла ядерна фізика

Гіпотезу про ядерну будову атома висунув 1904 року Хантаро Нагаока, один із засновників японської фізики. У 1908–1909 роках Ганс Гейгер і Ернест Марсден, які працювали в Манчестері в Резерфорда, встановили, що під час проходження альфа-частинок крізь тонкі пластинки з металевої фольги, переважна більшість з них пролітає навиліт, але одинокі частинки відхиляються на кути понад 90° або, просто кажучи, відбиваються. На підставі цього Резерфорд 1911 року зробив висновок про те, що таке можливо лише, якщо ”атом містить центральний заряд, розміщений у дуже малому об’ємі”.

Нідерландець Антоні Ван Ден Брук на підставі праць Резерфорда, Гейгера і Марсдена знайшов, що заряд ядра елемента збігається з його порядковим номером у Періодичній системі.

Того ж 1913 року Нільс Бор, який також працював у Резерфорда в Манчестері, використав ядерну модель Резерфорда для своєї теорії атома, що пояснила деякі незрозумілі до цього спектральні закономірності й водночас стійкість ”атома”. Можна сказати, що ядерна структура атомів знайшла статус наукового факту (а розвиток теорії Бора в 20-ті роки ХХ сторіччя привів до виникнення квантової механіки).



мандувача із Каліфорнійського університету прибув Гокінс, а в червні – Г'юз як заступник з кадрів. У січні 1944 року заступником із загальних питань призначили Дау).

Дещо згодом в цю групу як директор відділу теоретичної фізики ввійшов Ганс Бете, блискучий фізик із Корнельського університету. На цій посаді він залишався до кінця війни. Бете емігрував 1935 року з Німеччини, він був вже відомий своєю працею про синтез ядер гелію і водню як джерело сонячної енергії.

Вибір Кондона не був вдалим, але відповідальність за його призначення насамперед лягла на мене. Оппенгаймера насамперед треба було звільнити від численних адміністративних обов'язків, зокрема від створення добрих відносин з військовим комендантом, тому я порадив йому дібрати на посаду заступника директора фізика з досвідом роботи в промисловості. За моєю згодою він вибрав Кондона, який на той час був заступником директора експериментальної лабораторії компанії "Вестінгауз" у Пітсбурзі.

У Лос-Аламосі Кондон чимало зробив для зменшення тертя між науковцями та військовими. Якраз військові розв'язували всі адміністративно-господарські питання, і ми використовували їх на цій роботі через те, що не хотіли перенавантажувати науковців, яких було мало, і від яких ми хотіли повної віддачі, оскільки дослідницької роботи, крім них, ніхто не міг виконати. Найважливішим обов'язком Кондона як заступника директора було підтримання добрих стосунків між цими групами. Я очікував, що досвід роботи в промисловості допоможе йому впоратися з цим. Оппенгаймер як керівник усієї лабораторії, звичайно, мав зосереджувати головну увагу на наукових і технічних проблемах.

Вибравши нових працівників, ми без зволікання скерували їх до Лос-Аламосу, частково для того, щоб їх не зманили на іншу роботу і щоб вони мали більше часу на планування робіт. На жаль, відразу після прибуття перших науковців на об'єкт виникли ускладнення. Науковців мало хвилювали труднощі, з якими доводилося стикатися головному інженерові округу Альбукерка. Він відповідав за будівництво об'єкта і докладав багато зусиль, щоб закінчити цю найскладнішу роботу в цьому віддаленому районі. Науковці не розуміли, що в нього є свої труднощі, найбільша з яких – відсутність кваліфікованої робочої сили. Вся та невелика кількість працівників, яку можна було найняти на роботу в околицях, була під контролем місцевих профспілок будівельників, які не розуміли, зокрема, що об'єкти треба було здати в експлуатацію терміново. Головний інженер округу опинився в непростій ситуації, яка тільки може випасти на долю будівельника: замовник одержав вільний доступ на підприємство, яке ще не добудоване. До того ж до нього весь час звертались з проханням внести зміни до початкового проєкту.

Науковці, перейняті проблемою, виправляли ситуацію самі. Переважно це приводило до плутанини. І незадовго до нас почали надходити скарги від Комісії з вербування працівників для військових потреб, від Служби обліку робочої сили США і від Американської федерації праці. Найбільшим полегшенням у цій безрадійній ситуації було прибуття групи працівників технічного забезпечення, які перебували на постійній роботі в Каліфорнійському університеті. Ця група допомагала науковцям, які потроху втягувалися в будівництво. До того ж під час роботи над проєктом нас не перестали турбувати будівельні проблеми, оскільки багато технічних завдань будівельникам

1919–1920. Резерфорд розщеплює ядро і передбачає нейтрон

Резерфорд, переїхавши до Кембриджа, зробив декілька важливих відкриттів. По-перше, він побачив, що під час бомбування альфа-частинками атомів легких газів відбуваються ядерні перетворення, а, отже, зрозумів, що їх можна одержувати штучно. По-друге, у деяких випадках випускаються позитивно заряджені частинки, які є основними структурними елементами ядер (Резерфорд назвав їх протонами). І нарешті, логіка підказує, що має існувати ще один структурний елемент ядра, а точніше, нейтральна частинка з масою, яка дорівнює масі протона, і ця частинка, як пророко зауважив Резерфорд, має "вільно проникати в структуру атомів", а тому стати "новим ефективним інструментом їх дослідження".



можна було видати лише після закінчення експериментів (а після їхнього закінчення відразу ж були потрібні приміщення для проведення нових), і тому будівництво затягувалось.

Від самого початку ми зазнавали труднощів з поставкою устаткування і матеріалів, оскільки, по-перше, наші потреби були незвичайними і, по-друге все важливе устаткування можна було б закупити чи взяти в оренду лише в університетах. Із Гарвардського університету ми отримали циклотрон, із Вісконського – два електростатичні генератори Ван де Графа, з Іллінойського університету – пришвидшувач Кокрофта-Волтера.

З часом і адміністративна, і технічна групи пристосувались одна до одної, і дрібні чвари поступово стихали. Люди, звичайно, легше долають труднощі, якщо вони розуміють їх виняткову вагу, тому не дивно, що в деяких випадках виникали непорозуміння.

Той факт, що майже всі, хто прибув у той важкий час, залишилися там до кінця, наочно свідчить про те відчуття відповідальності, яке керувало кожним зокрема і колективом загалом.

Проте Кондон, пропрацювавши лише шість тижнів, відмовився від посади. Міркування, які він висловив у своєму листі про відставку, хтосьна чи оправдує його відхід. Кондон знав ці місця: він народився в Аламогордо (штат Нью-Мексико), багато років мешкав на Заході й слухав лекції в Каліфорнійському університеті. Проте з деяких причин він не побажав залишитися в Лос-Аламосі. Я ніколи не вважав, що в його листі викладені справжні причини від'їзду. По-моєму, ним керувало почуття зневіри в успіх нашої роботи, неми-

нучості провалу Мангеттенського проекту, і він не хотів мати до цього стосунку.

Наприкінці квітня на об'єкті було проведено декілька нарад, щоб ознайомити прибулих із станом досліджень у галузі атомної фізики і розробити чітку програму роботи над проектом далі. Одним із теоретичних питань, які потрібно було розв'язати, було питання про час протікання ядерної реакції під час вибуху. Треба було враховувати дві обставини. Сила вибуху залежить від кількості нейтронів, які вивільнюються під час ланцюгової реакції. Ця кількість зростає в геометричній реакції відповідно до розвитку реакції. Розвиток реакції вимагає часу, впродовж якого енергія, уже вивільнена на попередніх етапах реакції може викликати розкид матеріалу, що ділиться, і обірвати ланцюгову реакцію раніше, ніж прореагує весь матеріал, який ділиться, тобто відбудеться вибух.

Водночас різних думок про вірогідну тривалість реакції було достатньо, але це були лише міркування. Проте в будь-якому разі так чи інакше ми були переконані, що ефективна потужність будь-якої бомби, яку ми могли б створити, мала б бути невеликою порівняно з її потенційною потужністю.

Найпростіша конструкція бомби ґрунтувалась на використанні так званого ствольного методу. За цим методом, одна підкритична маса матеріалу прямувала як снаряд у напрямку до другої надкритичної маси, яка відіграла роль мішені, і це миттєво створювало надкритичну масу, яка мала б вибухнути. Такий принцип було використано в конструкції бомби "Малюк", яку скинули на Хіросіму.

1932. "Рік див" у "Велике триріччя" ядерної фізики (1932–1934)

Джеймс Чедвік 1932 року накінець відкрив нейтрон, який передбачив Резерфорд. Як тільки дослідники одержали в руки цей "ефективний інструмент", як відкриття покотились лавиною.

Дмитро Дмитрович Іваненко (СРСР) і Вернер Гайзенберг (Німеччина) створили протонно-нейтронну модель атомного ядра. Учні Резерфорда Джон Кокрофт та Ернест Волтон розщепили ядра літію протонами, пришвидшеними за допомогою електростатичного пришвидшувача. У США Гарольд Юрі та його колеги відкрили дейтерій, важкий протон водню. Ще один американець, Карл Андерсон, відкрив у космічних променях позитрон.

Патрик Блекетт і Джузеппе Оккіаліні 1933 року підтвердили відкриття Андерсона. Гілберт Льюїс і Р. Макдональд у США відкрили важку воду. Відразу у Франції (Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі), в Англії (Блекетт, Оккіаліні й Чедвік), в США (Андерсон) і в Німеччині (Л. Мейтнер) виявили народження електронно-позитронних пар із гамма-квантів поблизу ядер досить важких елементів.



Другий запропонований метод ґрунтувався на використанні вибуху, що сходиться всередину (імплузії). У цьому випадку потік газів від вибуху звичайної вибухівки скеровується на розміщений всередині матеріал, що ділиться, стискає його доти, поки він не досягне критичної маси. За цим принципом було створено бомбу "Товстун", яку скинули на Нагасакі. Розроблення її супроводжувалось великими труднощами, оскільки не було досвіду, на основі якого її можна було б розробляти. Людина, від якої найбільше залежав розвиток теорії бомби імплузійного (вибухового), типу, тоді був С. Н. Неддермейєр. Спочатку він один вірив в ефективність цього методу, незважаючи на невисоку думку про це його колег. Наприкінці 1943 року, з'ясувалось, що деякі раніше невідомі властивості плутонію ускладнюють його безпечне використання в бомбі ствольного типу, ми були дуже вдячні Неддермейєрові за його вперту віру в виготовлення бомби вибухового типу і за його роботу, яка була для нього найважливішою.

Тоді ж дискутували питання про те, як створити бомбу, яка б ґрунтувалась на принципі ядерного синтезу, який здійснили згодом у водневій бомбі. Оскільки було зрозуміло, що будь-яка надбомба вимагала б такої великої кількості тепла, яке могла б виділити лише атомна бомба, питання про її створення треба було б розв'язувати наступним. З іншого боку, її можливості були настільки великі, дослідженнями і вивченням її розроблення не можна було б знехтувати (найбільше для цього зробив Едвард Теллер, відомий як створювач водневої бомби). Обговорювали питання про можливість її вибуху в атмосфері, але цей варіант вважали нецільним з погляду здорового глузду. Розглядали також питання про силу вибуху такої бомби, але єдиної думки з цього питання не було. Однак

всі розуміли, що воднева бомба мала створити вибух величезної руйнівної сили, значно більшої від вибуху атомної бомби.

Оппенгамерові дали завдання зібрати бомбу відразу ж після того, як було отримано потрібний матеріал. Йому також повідомили, що це навряд чи відбудеться раніше від 1945 року, але в будь-якому разі він майже за шість місяців до очікуваного остаточного терміну мав бути повністю готовий до виготовлення зброї. Оскільки бомби не можна було випробувати до одержання достатньої кількості матеріалу, що ділиться, потрібно було провести багато додаткових випробувань з меншою кількістю цієї речовини меншої чистоти. Ці випробування мали допомогти під час конструювання бомб, в оцінюванні їхньої потужності та вірогідності успіху.

Спочатку Лос-Аламоська лабораторія була суто дослідницькою організацією. Робота в ній мала науковий і навіть теоретичний характер, тому напочатку майже вся відповідальність лежала радше на науковцях, ніж на інженерах. Згодом співвідношення змінилось, й інженерно-технічні роботи, які також проводили на високому науковому рівні, набули великого значення, оскільки ми прагнули переконатися в тому, що бомба спрацює.

Одним із головних завдань було точне визначення кількості нейтронів, потрібних для здійснення реакції поділу. Ми мали деяке уявлення про те, чому воно дорівнює для урану-235, хоча і не були в цьому переконані, оскільки наше оцінювання ґрунтувалось на вимірюваннях зразків, які містили велику кількість урану-238. Для плутонію ця кількість було зовсім невідома. Ми могли лише припускати і сподіватися, що воно не дуже відрізняється від відповідної кількості для урану-235.

Енріко Фермі 1934 року, додавши гіпотезу Вольфганга Паулі про нейтрино (безмасову нейтральну частинку, що вилітає під час бета-розпаду) до протонно-нейтронної моделі ядра, створив теорію бета-розпаду. Е. Фермі також опублікував перші праці про опромінювання урану повільними нейтронами, де дійшов висновку, що йому вдалося отримати нові елементи номер 93 і 94 (їхню хемічну ідентифікацію провести Фермі не вдалося – не було достатньої кількості для аналізу).

Іда Ноддак (Німеччина) теоретично передбачила можливість ділення ядер урану. Маркус Оліфант, Пол Гартек і Ернест Резерфорд відкрили тритій, надважкий ізотоп водню.

Проте було потрібно ще декілька років досліджень фізиків у співпраці з хеміками, щоб відкрити феномен поділу урану за допомогою повільних нейтронів.



Через можливі ускладнення з виробництвом ми напочатку не знали, чи використовуватимемо в бомбі уран-235, плутоній або те й те. Ми також не знали, в якому вигляді прийде до нас матеріал: у вигляді чистого металу чи з'єднання. Відповідно, ми не могли сформулювати технічних умов до механічних властивостей бомби.

Було очевидним, що після того, як ми одержимо матеріал, який ділиться, у грамових або кілограмових кількостях, то часу на дослідження вже не буде. Майже всі хемічні дослідження, які б вони не були важливі, ми мали проводити з мікроскопічними зразками. До того ж, ми мали якомога раніше розпочати балістичні дослідження, які були новою галуззю інженерного мистецтва і вимагали спільної роботи не лише науковців та інженерів, а й експертів із вибухових речовин, і особливо людей, що мали досвід в артилерійській справі.

На зборах Військово-політичного комітету в травні 1943 року я попросив дібрати відповідного керівника для цієї роботи. Ні Оппенгаймер, ні я не могли підшукати потрібної нам людини, яка б добре знала теоретичні основи артилерійської справи, і мала багатий досвід роботи з вибуховими речовинами, широке коло знайомих, добру репутацію серед артилеристів і мала змогу завжди мати в них підтримку. Ця людина мала б володіти достатніми науковими знаннями і вміти працювати з науковцями. На останніх стадіях здійснення проєкту цей фахівець мав займатися балістичними випробуваннями, а також плануванням і, можливо, фактичним застосуванням бомби в військових діях, тому було б бажано, якби він був кадровим

офіцером. Я сказав комітетові, що я не знаю в армії нікого, хто б міг відповідати таким вимогам.

Після деякого обговорення Буш поцікавився, чи маю я заперечення проти морського офіцера, і запропонував капітана третього рангу Вільяма Парсонса. Пернелл з радістю схвалив цю кандидатуру. Парсонс, який закінчив Анаполіське училище 1922 року, провів значну частину своєї служби у військово-морській артилерії і на стрільбах, якраз декілька років до того закінчив тривалу роботу з розроблення і випробування контактного підричника. Після деяких суперечок із військово-морським командуванням його кандидатуру було схвалено, а мені запропонували зустрітися з ним. Ввечері наступного дня Парсонс прийшов до мене. За декілька хвилин я зрозумів, що це та людина, яка нам потрібна. Під час нашої розмови він нагадав мені про нашу зустріч на початку 30-х років, коли я працював над застосуванням інфрачервоних променів, а він брав участь в розробленні радара для військово-морського флоту. Я пригадав, що колись на мене справило враження його розуміння ролі наукової теорії для збройних сил. Ми домовились про його зустріч з Оппенгаймером, яка відбулася за декілька днів у Вашингтоні. Оппенгаймер схвалив такий вибір. Було віддано потрібні розпорядження, і невдовзі Парсонс почав працювати в Лос-Аламосі.

Зустріли його вельми своєрідно. Через обмеження в Лос-Аламосі за відсутності туди службового відрядження і без докладної перевірки благонадійності потрапити туди було дуже важко. Ті, що відповідали цим вимогам, входили через го-

1938–1939. "Томний" характер атомної енергії

Німецькі вчені Отто Ган і Фріц Штрассман упевнено зафіксували розщеплення ядра урану завдяки дії повільних нейтронів. Теоретично це явище пояснили Ліза Мейтнер і Отто Фріш, які вимушені були емігрувати з фашистської Німеччини до Швеції. Вони ж вкотре, але тепер уже строго доказово, вказали на те, що поділ ядер має супроводжуватись вивільненням величезної енергії. О. Фріш підтвердив це експериментально.

Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі експериментально відкрили явище штучної радіоактивності хемічних елементів.

Лео Сціллард в Англії передбачив ланцюгову ядерну реакцію під час опромінення берилію нейтронами, що, як він вважав, можна використати для одержання потужної вибухівки нового типу.

Прорив у ядерній фізиці за ці три роки був величезним, уже 1934 року фізики мали всі теоретичні передумови до створення атомної бомби – поділ урану, ланцюговий характер цього поділу і, по суті, вже відкритий плутоній.



ловні ворота, розташовані кілометрів за три від центра зони. Служба безпеки мала спеціальні інструкції уважно придивлятися до осіб, одягнених у форму і які шукали входу, особливо якщо їхня форма в деяких деталях відрізнялася від передбаченої статутами. Всю охорону набрали з армії, і вона мало зналася на військово-морській формі.

Парсонс був першим військово-морським офіцером, що одержав призначення на об'єкт. Він з'явився біля воріт у літній військово-морській формі. Один із постових одразу зателефонував своєму начальникові: "Сержант, ми спіймали шпигуна. До нас намагається пройти один тип, а його форма така ж липа, як тридоларовий папірець (у США немає грошових купюр номінацією три долари). У нього на пагонах полковницькі орли, а каже, що він капітан".

Другим випадком небезпечної плутанини, пов'язаної з військовим жаргоном, був такий епізод. Якось із Вашингтона я зателефонував полковникові Тайлерові і повідомив йому, що один із вищих офіцерів, фахівець з "вогню", з яким нам доводилося мати справу, прибуде того дня увечері до аеропорту Санта-Фе. Він має дуже мало часу і хоче подивитися Лос-Аламос. Я наказав Тайлерові зустріти його в аеропорту, відвезти на пагорб, організувати невелику нараду з Оппенгаймером, і, якщо вдасться імітувати невеликий неядерний вибух у районі випробувань. Оскільки генерал мав мало часу, Тайлер ужив заходів, щоб його автомобіль зміг проїхати без затримки. Ці незвичні інструкції було передано офіцерові, який

керував охороною. Тайлер поїхав до аеропорту, де мав зустріти літак о другій годині пополудні. Проте літак запізнився на дві години. Генерал, який вискочив з літака, заявив, що сьогодні має зустріч в Ель-Пасо (штат Техас), і вимагав, щоб його візит до Лос-Аламоса був здійснений якомога швидше.

Усе йшло добре доти, поки легковий автомобіль на граничній швидкості не проїхав повз будку охорони в лісовій частині об'єкта в напрямку району випробувань. І раптом вартовий закричав: "Стій, чорт побери, стій!" За цим наказом почулось клацання збройного затвора. Водій натискував на гальма і поволі підвів машину до того місця, де стояв вартовий. Як завжди, вартовий, не поспішаючи, почав оглядати документи всіх, хто був в автомобілі. Генерал виявляв нетерпіння. Тоді Тайлер запитав:

– Хіба не було наказу пропустити цей автомобіль через пост без затримки?

– Ні, сер. Мені наказали, щоб я пропустив без затримки декілька пожежних, і я очікував людей у масках. Ви їх випадково не бачили, сер? Похмурий настрій генерала змінився нестримним сміхом.

Парсонс упродовж своєї роботи виправдав мої найкращі очікування. Те, що він був кадровим офіцером, що мав великий досвід у розробленні контактних підричних речовин, допомогло нам на останніх стадіях здійснення проекту, коли ми почали останні приготування.

Конент порадив мені поліпшити ділові взаємини з науковцями Лос-Аламоса, створивши ко-

Однак потрібно було ще декілька років досліджень фізиків та хеміків, щоб відкрити феномен поділу урану за допомогою повільних нейтронів.

На початку 1939 року нове явище почали вивчати відразу в Англії, Франції, США і Радянському Союзі. Нільс Бор і Джон Вілер у США, Яків Френкель у СРСР запропонували теорію поділу ядер, і майже відразу з'ясувався ланцюговий характер поділу (В. Цінн і Лео Сціллард, США, Яків Борисович Зельдович і Юлій Харитон, СРСР). З'явилось поняття критичної маси урану, досягнувши якої можна розпочати процес поділу (Френсис Перрен, Франція). З'ясували вирішальну роль ізотопу урану-235 (актиноурану, як тоді казали), що становить у природній урановій суміші лише 0,71% (Нільс Бор). Відкрили два трансуранові елементи, 93- і 94-й – нептуній і плутоній (Едвін Макміллан, Філіп Абельсон, Гленн Сіборг, США), і встановили, що плутоній так само добре ділиться завдяки дії нейтронів, як і уран-235 (Джозеф Кеннеді, Гленн Сіборг, Еміліо Серге, Артур Валь, США).

Отже, ми мали відомі всі відомості для одержання атомної енергії. Згодом Содді запропонував назвати цю енергію як "таку, що ділиться" (слово "атомна" означає якраз "неподільна"). Проте неологізм Содді не прижився.



мітет, який би заслуховував результати їхньої роботи, незалежно він того, зможемо ми чи ні мати безпосередню користь з їхніх доповідей. "Ці люди, – наголосив він, – звикли до того, що з їхньою роботою час до часу знайомляться комітети, які призначає адміністрація університетів, і організацію такої системи зустрінуть схвально."

Я, однак, не вважав, що ідея комітету погана, оскільки завжди пам'ятав слова мудрого й успішного начальника інженерної служби генерала Джедвіна. Коли деякі з його підлеглих натякнули йому, що немає потреби створювати інститут консультантів щодо річки Міссісіпі, оскільки його члени не мають досвіду роботи в цій галузі, а багато офіцерів інженерної служби мають, і таке інше, він відповів: "У мене немає заперечень до комітетів, які я призначаю сам".

Керуючись цим міркуванням, я безвагань ухвалив рішення про створення комітету. Насамперед Парсонс мав переконати Конента і мене, а також членів Військово-політичного комітету в тому, що програма та організація робіт у Лос-Аламосі обґрунтовані. Члени комітету (до комітету входили В. К. Льюїс з Массачусетського технологічного інституту (голова), Е. Л. Роуз із фірми "Джонс і Лемсон", Дж. Г. ван Флекс і Е. Б. Вільсон із Гарвардського університету, Річард С. Толмен) були ретельно дібрані, і один з них, цього разу секретар, був добре обізнаний з проектом і з моїми міркуваннями з цього питання.

Подібне ставлення до комітетів може здатися цинічним, проте мій досвід свідчив, що це дає відмінні результати. Робота комітету принесла велику технічну користь. Один з його членів вказав під час розгляду конструкції, що міцність ствола

абсолютно несуттєва для успіху, оскільки під час вибуху він буде знищений. Це зауваження виглядало зовсім тривіальним, однак до цього нікому з нас воно не спало на думку. В результаті ми змогли зменшити розміри і вагу "Малюка". Бомба стовбурного типу стала практичною з військового погляду вже на ранній стадії її розроблення, роботу над нею можна було вести організовано і без поспіху.

Комітет дав ще одну рекомендацію, яку згодом прийняли: Лос-Аламос мав відповідати за успішне застосування бомби, а, отже, треба було розробити спеціальні методи для очищення плутонію після його виділення. Я визнав цю пропозицію слушною для лос-аламоського об'єкта, оскільки кількість плутонію, що підлягав очищенню, була невеликою, і нам треба було будувати спеціальну установку або в Ганфорді, або в Лос-Аламосі. Комітет підтримав думку Оппенгаймера, з яким я погодився в тому, що треба починати балістичні дослідження. Ці зміни темпу і завдань подвоїли кількість людей у Лос-Аламосі, особливо тих, які були зайняті дослідженнями в галузі балістики і вибухових речовин.

Сектор вибухових речовин очолив Джордж Кістяківський з Гарвардського університету, який мав досвід роботи з дослідження сильновихуових речовин. Успіх "Товстуна" залежав від конструкції та якості виготовлення неядерної вибухової речовини. І за те, і за те відповідав Кістяківський.

Роботу проводили в ненормальних для експериментів умовах і через брак часу не було змоги ужити належних заходів безпеки. Хоча небезпека нещасних випадків була велика, ніхто не постраждав.

1939–1945. Фінішний ривок

Друга світова війна почалася 1939 року. Та ще напередодні фізики-ядерники, схоже, усвідомили, до чого насправді можуть призвести їхні відкриття. Альберт Айнштайн 2 серпня 1939 року (після тривалих настійливих умовлянь Лео Сцілларда і Юджіна Вігнера) написав листа президентові Т. Рузвельтові, і в США в жовтні 1939 року з'явився перший державний комітет з атомної енергії.

В Англії, де розгорталися роботи з військового застосування урану-235, не використовували такого терміна, як "атомна енергія", а називали речі своїми іменами. Влітку 1941 року Чедвік заявив: "Ми переконані, що створення атомної бомби реально може відіграти вирішальну роль у війні".

Аналогічні заклики лунали і в Москві від радянських науковців. Однак після 22 червня 1941 року ядерні турботи відійшли на другий план.



Щоб полегшити контроль за роботою в Лос-Аламосі, Оппенгаймер заснував Раду керівників, куди входив він сам, начальники відділів і адміністративні працівники, які займалися загальними питаннями. Раду інформували про все, що стосувалося проекту і його здійснення. Крім того, було організовано консультативний комітет об'єкта. Цей останній був більшом на оці коменданта, який не міг задовольнити всіх його вимог, але критика часто поліпшувала життя. Загалом комітет не лише сприяв поліпшенню стосунків серед колективу, а й був опорою адміністрації.

Серед проблем, які виникали в Лос-Аламосі, були й такі, що властиві будь-якому ізольованому колективу. Вони поглиблювалися тим, що колектив складався з людей з різними життєвими поглядами: науковців, які не мали іншого життєвого досвіду, крім того, якого набули в наукових закладах, і військових. Останні майже всі не мали фаху, погано розуміли і не любили способу життя науковців. Вони були просто зацікавлені в доведенні війни до швидкого й успішного кінця. Приховані антипатії між невеликими частинами цих груп були завжди, хоча Оппенгаймер, Парсонс, Тайлер і Бейнбрідж робили все можливе для того, щоб їх не було.

Прибувши до Лос-Аламоса, Тайлер із дружиною дали обід. Незадовго до цього в одній із газет, що виходили на сході США, з'явилась замітка про те, що для пришвидшення утворення льоду в холодильнику, треба налити на тацю для льоду окропу. Випадково господиня згадала про цю замітку і поцікавилася, чи знає хто-небудь з гостей, чому так можна пришвидшити замерзання води.

Сумніви, які її мучили щодо вибору теми розмови з провідними фізиками, виявилися невиправданими. Один науковець заявив, що ця пропозиція просто смішна. Інший заперечив. Гості попросили олівці й папір, із кишень піджаків повитягали маленькі логарифмічні лінійки. Почалась гаряча суперечка, до якої долучились військові з інженерною освітою, а також деякі з дружин науковців. Я не пригадаю, чи дійшли учасники дискусії до якої-небудь згоди, але потім розповідали, що деякі учасники дискусії, прийшовши додому, почали експериментувати на своїх домашніх холодильниках.

Попри деякі успіхи, було очевидно, що, поки не буде ліквідований привід для численних дрібних суперечок, тертя триватиме. А справи погіршувались через непередбачене збільшення населення. Система водопостачання, розрахована на потрійний запас щодо населення, дуже швидко виявилась перевантаженою. Внаслідок будівельних ускладнень не вистачало житла, і навіть у кращі часи наші житлові можливості були вельми скромними. Щоб розмістити науковий та адміністративний персонал, ми мали надавати сімейним працівникам котеджі, а самотнім – гуртожиток.

Житлова проблема ускладнювалася майже повною відсутністю прислуги. Ми не мали інших служниць, крім дівчат-індіанок із сусідніх поселень, яких привозили до нас автобусом й розподіляли відповідно до потреби, а не залежно від бажання. Ця система була задумана для того, щоб зацікавити дружин наших працівників також брати участь у роботі над проектом. Щоб матері, які мали маленьких дітей, могли працювати, було

Тоді ж у США роботу проводили у двох напрямках: виділення урану-235 з природної суміші, а точніше – пошук найефективнішого методу розділення ізотопів урану, і будівництво ядерного реактора для напрацювання плутонію-239, який, як і уран-235, годився для атомної бомби. Перший в світі реактор було запущено в США під керівництвом Енріко Фермі в грудні 1942 року.

Радянський Союз під тиском науковців та відомостей розвідки теж був змушений прийняти державну програму зі створення атомної бомби. У лютому 1943 року в Москві створили секретну Лабораторію № 2 АН СРСР, де під керівництвом Ігоря Васильовича Курчатова працювали в тих двох напрямках, що й американці. Розвідувальна інформація із США надходила вродовж війни і після неї й істотно корегувала радянську програму.

У липні 1945 року американці фінішували, випробувавши на полігоні в Аламогордо першу в світі плутонієву бомбу. Другу й третю бомби вони скинули на Хіросіму і Нагасакі, форсувавши закінчення Другої світової війни.



організовано дитячий садок, витрати на його утримання взяла на себе держава. Початкова і середня школи працювали як безкоштовні громадські школи, всі витрати на їхнє утримання списували за статтями проєкту.

Лікарня, яку відкрили для тих, хто мешкав на об'єкті, була частиною служби охорони здоров'я і техніки безпеки лабораторії. Я вважав, що важливо мати лікарню, в якій могли лікуватися всі, хто цього потребував, оскільки нам дуже не хотілося, щоб у нікого не виникало щонайменшого бажання шукати медичної допомоги в іншому місці. Медичне обслуговування в Лос-Аламосі було безкоштовне, за винятком перебування в лікарні.

Багато із суперечок, які були в Лос-Аламосі, ніколи б не виникли, якби лабораторію можна було розташувати в центрі великого міста. Більшість з них привикли мешкати в міських умовах і користуватися зручностями і розвагами, властивими для міста. Життя в Нью-Мексико для них виявилось не цікавим, оскільки ніяких розваг не було, якщо не вважати найпростіших, які вони самі організували. Ми не мали ані симфонічних оркестрів, ані опер, ані театрів, ані лекцій на якінебудь культурно-просвітницькі теми. Люди, звичайно, могли поїхати до Санта-Фе, столиці Нью-Мексико, але воно був зовсім маленьким містечком, та ще віддаленим на 35 кілометрів, водночас відлучатись від об'єкта не рекомендували.

Крім консультативного комітету, який займався громадськими справами, Оппенгаймер створив координаційний комітет, членами якого були керівники груп та інші особи, які обіймали високі посади. Збори цього комітету були радше інформаційними, ніж дискусійними. Різні сектори і групи влаштовували власні наради і семінари, на яких обмінювались науковою інформацією.

Іншими засобами підвищення зацікавленості та темпу досліджень був щотижневий колоквіум, на якому мав право бути присутнім кожний працівник. Колоквіум був не стільки джерелом інформації, як джерелом моральної взаємної підтримки і колективної відповідальності. З погляду секретності, він був дуже небезпечним.

Оскільки між Лос-Аламосом й іншими об'єктами був зв'язок, то обмін інформацією було важко контролювати, хоча, загалом у цих питаннях у нас було все добре. Проте багато в Лос-Аламосі були незадоволені відсутністю інформації про хід виробництва. Це було зумовлено не стільки відсутністю зв'язку, скільки розпливчастістю, неповнотою і суперечністю усіх планів того часу. Було не тільки важко, а просто неможливо розробити розумні графіки досліджень, потрібні для створення бомби, ми просто не могли передбачити, коли буде готова потрібна кількість урану-235 чи плутонію.

Характер зв'язку з Металургійною лабораторією в Чикаго був типовою формою спілкування

1945–1949. Ядерний паритет досягнуто

Радянський атомний проєкт відставав від американського на чотири роки. У грудні 1946 року Курчатов запустив перший в Європі атомний реактор, а 29 серпня 1949 року Радянський Союз випробував свою першу плутонієву бомбу на полігоні під Семіпалатинськом. Як стало відомо зовсім недавно (1992), вона була точною копією американської бомби, про яку наші фахівці знали ще 1945 року.

Однак тоді, 1949 року, успіх СРСР здавався несподіваним. Адже для створення бомби було недостатньо мати вагомий науковий потенціал і конкретні розвідувальні відомості, як її зробити. Для напрацювання навіть мінімальних кількостей збройного урану і плутонію треба було створити зовсім нову і дуже високотехнологічну на ті часи промисловість, що, як вважали на Заході, найближчі роки двадцять для Радянського Союзу нереально.

Та як би там не було, атомна бомба в СРСР з'явилася, і почався відлік епохи ядерного протистояння – світ став перед загрозою загального знищення.



для робіт проекту. Спеціальним представникам двох лабораторій було дозволено обмінюватися інформацією через листування або під час зустрічей в Чикаго. Обсяг інформації був обмежений відомостями про хемічні, металургійні та ядерні властивості матеріалів, що діляться й інших матеріалів. Представникам було дозволено обговорювати питання про потреби в урані-235 і плутонію для експериментів, але не графіки їхнього виробництва. Їм було заборонено обмінюватись інформацією про конструкцію і роботу реакторів, про конструкцію зброї. Проте три члени Лос-Аламоської лабораторії були проінформовані про очікувані строки одержання великої кількості цих матеріалів, щоб розумно планувати дослідницьку роботу, а коли потрібна була думка Оппенгаймера, я був готовий зробити виняток із правил.

Деякі науковці ніяк не могли визнати потреби деяких обмежень їхньої особистої свободи, а ми не могли послабити запобіжних засобів безпеки. Упродовж перших півтора року виїжджати із зони було заборонено, лише як виняток – у відрядження в справах лабораторії або в крайніх випадках. Переважно це обмеження сприймали як наслідок загальної політики з ізоляції робіт. Дехто вважав, що ці обмеження не дуже суворі, але ніхто й ніколи не скористався формулюванням

”винятковий випадок”. Зняття цих обмежень наприкінці 1944 року стало приводом до загальної радості.

Один момент діяльності нашої служби безпеки в Лос-Аламосі особливо викликав роздратування: цензура листування. На початку її не було. Коли ж прибули перші працівники до Лос-Аламоса, то ширились чутки про перевірку листів. Поширення чуток Оппенгаймер дуже зацікавився цим і запитав мене, чи я віддавав наказ запроваджувати цензуру. Я такого наказу не віддавав, і докладне розслідування кожної заяви про розкриття листів переконало мене в тому, що ці заяви не обґрунтовані. Проте досі особливо далекосяжні члени колективу лабораторії наполягали на впровадженні офіційної цензури вихідної кореспонденції. Її було запроваджено в грудні 1943 року. Початковою метою було запобігти ненавмисне розголошення відомостей. Звичайна військова цензура ніколи не могла запобігти навмисному шпionaжу. Найціннішу інформацію про Лос-Аламос можна було викласти декількома словами й передати різними шляхами. У пошуках захисту від цієї небезпеки ми мали покладатися переважно на чесність людей. Отже, ймовірність зради була прямопропорційна до кількості працівників і кількості інформації, якою вони володіли.”

За книжкою: Лесли Гровс. Теперь об этом можно рассказать. – М.: Атомиздат, 1964. Сокращенный перевод с англ. О. П. Бегичева с издания: The story of Manhattan project. By Leslie R. Groves, Lieutenant General, U.S. Army, Retired. – Harper & Brothers Publishers, New York.

1949– ? Армагедон триває

Колись Пліній Старший так само ретельно, як ми нині обговорюємо плюси і мінуси поширення ядерної зброї країнами світу, обговорював апокаліптичну долю іншого наукового відкриття: ”Залізо служить життю кращим і гіршим знаряддям, оскільки ним ми зорали землю... за його допомогою ми будемо будинки, руйнуємо скелі, але ним також користуємося для війн, вбивств, розбоїв... Це я вважаю підступним злочином людської винахідливості... В угоді, яку після вигнання імператора уклав з римським людом Порсенн, є додаткова умова, за якою римський народ міг користуватися залізом лише в рільництві, і тоді було встановлено писати стиліями з кістки... Існує едикт Помпея Великого, виданий в його третє консульство в зв'язку з безладдям через вбивство Клодія, в якому він забороняв в Місті будь-яку зброю (малося на увазі – залізу).



Квантова телепортація

ПРЕМІЯ ЗА КВАНТОВУ ТЕЛЕПОРТАЦІЮ

Головну премію Європейського Союзу з науки, яку вручали в Празі, науковці отримали за застосування квантової телепортації і перевірки мітохондріальної гіпотези старіння.

"Мільйон євро, які отримують лавреати Декартівської премії, є не компенсація науковцям за довгу працю, а є свідченням того, наскільки високо Європейський Союз цінує наукову досконалість міжнародних колективів" – зазначено в документах Європейської комісії. І справді, на відміну, наприклад, від Нобелівської премії, премією Декарта нагороджують такі наукові колективи, які займаються наукою сьогодні. До того ж, ці кошти потрібно витратити на продовження досліджень.

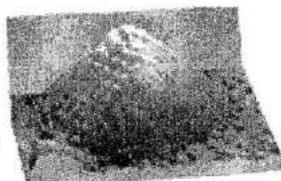
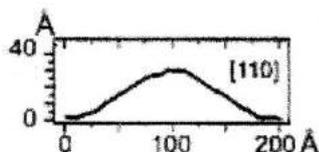
Мільйон євро розділили між собою група професора Говарда Якобса з університету Тампере, яка вивчає механізм старіння, і група професора Андерса Карлсона зі Стокгольмської Королівської вищої технічної школи, яка працювала у межах європейської ініціативи із створення засобів далекого зв'язку за допомогою квантової телепортації фотонів.

"Нашою метою було показати, що квантова фізика цілком здатна вийти за поріг лабораторії і перетворитися на основу справжньої технології, – розповідає професор Карлсон. – І ми це зробили. Щоб здійснити квантову телепортацію, треба створити два однакових фотони, які настільки сильно пов'язані один з одним законами квантової механіки, що, діючи на один з них, це неминуче подіє на інший, до того ж незалежно від віддалі, яка розділяє ці фотони. Ця властивість дуже важлива для криптографії: зловмисник, прочитавши один фотон, неминуче зіпсує інформацію, яку передає другий фотон, і нічого не зрозуміє. Ми створили пристрій, який розділяє фотони на два промені, скерували їх у два оптичні волокна, і мої швейцарські колеги здійснили за їхньою допомогою захищене передавання інформації на шість кілометрів. Це рекорд. Річ у тім, що зв'язок між фотонами поступово губиться через їхню взаємодію з матеріалом світловоду. Австрійські учасники зробили можливим передавання інформації для банку у Відні з одного берега Дунаю на інший. Такий успіх із застосуванням квантової телепортації для практичної мети – перший, але не останній. Я переконаний, що найближчим часом квантові методи повністю змінять вигляд інформаційних технологій. Однак навряд чи коли-небудь вдасться телепортувати людину, як це пишуть автори фантастики. Квантова телепортація радше подібна на обмін снами".

<http://www.inauka.ru/>

ФОТОГРАФІЯ "КВАНТОВОЇ ТОЧКИ"

Квантові точки – це "домішки" одного матеріалу в матриці іншого, які мають нанометрові розміри. За дискретний енергетичний спектр їх деколи називають "штучними атомами".



Нещодавно за допомогою сканувальної тунельної мікроскопії було отримано тримірні зображення квантових точок з атомним розділенням. Квантові точки було одержано завдяки вирощуванню ультратонкого шару InAs на поверхні GaAs. Як видно, квантова точка має пірамідальну форму з досить гострою вершиною (поряд зображено профіль по висоті).

Розміри і форма квантової точки залежить від умов вирощування. В разі інших з'єднань квантові точки можуть формуватися і в формі плоских "млинців", і в формі мікросфер (у діелектричній матриці).

<http://www.scientific.ru/>

Мічіо Кайку. Візії: як наука змінить XXI сторіччя/
Переклала з англ. Анжела Кам'янець. – Львів: Літопис, 2004. – 544 с.

У цій захопливій подорожі науковим світом майбутнього фізик-теоретик і автор бестселерів Мічіо Кайку намагається спрогнозувати, як три великі наукові революції – квантова механіка, біогенетика і штучний інтелект, – що кардинально змінили світ в останні сто років, трансформують наше життя в наступному сторіччі. Спираючись на результати найновіших досліджень, Кайку передбачає майбутнє, в якому ми вже не будемо пасивно спостерігати за танцем Природи, а перетворимося на активних хореографів матерії, життя й інтелекту.

Для широкого кола читачів.

"Книжка американського фізика-теоретика Мічіо Кайку, яку Читач тримає в руках, написана як розповідь про інтелектуальні здобутки людства, яких воно досягло на кінець 90-х років минулого століття у квантовій фізиці, астрофізиці та космології, молекулярній біології, молекулярній медицині, генній інженерії, про сьогоднішню та майбутню фундаментальної і прикладної природознавчої науки, про час, коли в діалозі з комп'ютером людина буде на межі "ти машина і я машина", коли страшні хвороби людства можна буде лікувати лише завдяки розшифруванню геному людини, про покоління наступних цивілізацій, коли люди вже матимуть ознаки безсмертних..."

Іван Вакарчук



Мічіо Кайку. Гіперпростір: наукова одисея крізь паралельні світи, викривлений простір-час і десятий вимір/
Переклала з англ. Анжела Кам'янець. – Львів: Літопис, 2005. – 460 с.

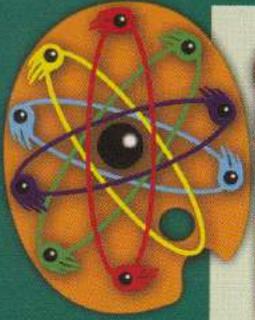
Чи існують ще виміри, крім звичних трьох просторових і одного часового? Чи можливо подорожувати в часі й змінити минуле? Чи існують паралельні світи? Багато з нас замислювалися над цим, однак науковці відкрили такі ідеї. Тепер усе змінилось, і ці питання стали темою інтенсивних наукових досліджень.

"Гіперпростір" – це наукова одисея крізь паралельні світи, викривлений простір-час і десятий вимір, а також захоплива розповідь про пошук славнозвісної "теорії всього", яка б об'єднала всі сили природи і розкрила таємницю походження Всесвіту.

Для широкого кола читачів.

"Наші інтуїтивні уявлення про тривимірний простір як вмістилище всього суцього, як сцену або декорацію, на фоні якої розігруються фізичні події, послідовність яких безстрашно нанизується на нескінченну тятиву часу, тягнуться споконвіку від уявлень Демокріта й Епікура та тих геометричних понять, які Евклід постулював понад два тисячоліття тому і які ми й сьогодні вивчаємо в шкільному курсі геометрії. Саме на цих уявленнях та принципах абсолютності простору й часу Ньютон понад три століття тому винайшов і сформулював фундаментальні закони природи. Але впродовж віків людина замислювалась над тим, що, можливо, простір не є тривимірним, а час – одновимірним, що, можливо, є й інші сховані виміри і, можливо, серед них є такі, що не подібні ані до просторових, ані до часових..."

Іван Вакарчук



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"



Т. Н. Яблонська (1917–2005)

Весілля. 1963.

Народний художник України, академік АМУ, професор; живописець. Народилася 11 лютого 1917 р. у м. Смоленську, Росія. Закінчила Київський державний художній інститут 1941 р., спеціальність живопис, майстерня Ф. Кричевського. З 1944 р. член Спілки художників України. У 1944–1952 рр. – викладач рисунка, живопису та композиції Київського державного художнього інституту. У 1965–1966 рр. – головний спеціаліст сектору інтер'єру Київського зонального НДІ експериментального проектування. У 1966–1967 рр. – викладач, 1967–1973 рр. професор, у 1966–1968 рр. – завідувач кафедри композиції, керівник майстерні монументального живопису Київського державного художнього інституту. У 1951–1958 рр. – депутат ВР УРСР. У 1956–1962 рр. – член правління Спілки художників України, з 1963 – член правління Спілки художників СРСР. Народний художник СРСР (1982), дійсний член АМ СРСР (1975). Лавреат Державної премії СРСР (1949, 1951, 1979), Державної премії України ім. Т. Шевченка (1998). Нагороджена орденами Трудового Червоного Прапора (1951), Дружби народів (1977), "За заслуги" II ст. (1997), Почесною відзнакою Президента України (1994). Герой України (з врученням ордена Держави, 03.03.2001). "Художник року" (ЮНЕСКО, 1997). "Жінка року" (Міжнародний біографічний центр, Кембридж, 2000). Тетяна Нилівна Яблонська померла 17 червня 2005 року.

Конверти, випущені з нагоди ювілеїв українських фізиків

