

С В І Т

Ф І З И К И

№4'99

науково-популярний журнал

Львівський університет —
національний

Oblata Privilegio super Academiis Leopoli in collegio 22 die 1851 erigendam

А К Т А
У N I V E R S I T A T I S
L E O P O L I T A N E
I N G A L I C I A
A N N O M D C C L X X I V . I N A U G U R A T I O

УКАЗ

ПРЕЗИДИ ВЕРХОВНОЇ РАДИ УКРАЇНСЬКОЇ РСР
Про присвоєння Львівському державному
університету імені ІВАНА ФРАНКА

"УКАЗ
ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

Про надання статусу національного університету
державному університету імені Івана Франка

Урядовими рішеннями Івано-Франківського державного університету
імені Івана Франка у державку висококваліфіковани фахівці та
освітні науки встановили:

Надати Львівському державному університету імені Івана Франка
статус національного і надати йому імені - Львівський
національний університет імені Івана Франка

Президент України

Л.КUCHMA"

М. Київ
11 лютого 1999 року
№ 1311/99

Голова Президії Верховної Ради УРСР М. ГРЕЧУХА,
ректор Президії Верховної Ради УРСР О. ЖЕЖИРИК
11 січня 1960 р.



...університет зводить разом людей, які
прагнуть науково пізнавати і духовно жити...

Карл Ясперс

УКАЗ ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ

Про надання статусу національного Львівському державному університету імені Івана Франка

Ураховуючи значний внесок Львівського державного університету імені Івана Франка у підготовку висококваліфікованих фахівців та розвиток науки **постановляю:**

Надати Львівському державному університету імені Івана Франка статус національного і надалі іменувати його – Львівський національний університет імені Івана Франка.

Президент України

Л. КУЧМА

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА

З початку заснування Львівського університету минуло понад триста років. 20 січня 1661 р. король Ян Казимир підписав диплом, який надавав Львівській єзуїтській колегії "зідність академії і титул університету" з правом викладання всіх тогочасних університетських дисциплін та присудження вчених ступенів. Ця дата стала першою сторінкою тривалої і багатогранної історії Львівського університету.

Від часу заснування і до 1773 року Львівський університет перебував під контролем єзуїтського ордену. Після розпуску ордену єзуїтів (1773) було закрито і Львівський університет. Однак незабаром чимало підрозділів єзуїтської академії стали підвалинами Йосифінського університету у Львові.

1772 року Галичина увійшла до складу Австрійської імперії. У жовтні 1784 року імператор Йосиф II підписав диплом про відновлення університету у Львові. На зламі століть Львівський університет посідав провідне місце в Австро-Угорщині і не поступався багатьом університетам Європи.

Після розпаду Австро-Угорської імперії Галичина була захоплена Польщею. Міністерство віровизнань і освіти Польщі 18 листопада 1918 року оголосило, що бере Львівський університет під свою опіку і присвоїло йому ім'я польського короля Яна Казимира. За кількістю студентів Львівський університет був одним з найбільших у Польщі.

Після 1939 року Львівський університет імені Яна Казимира був перейменований у Львівський державний університет СРСР і зазнав радикальних змін.

Указом від 8 січня 1940 року Президія Верховної Ради УРСР присвоїла Львівському державному університетові ім'я видатного українського письменника і мислителя Івана Франка.

Робота університету була перервана німецькою окупацією Львова. Відновлення діяльності розпочалось відразу після звільнення Львова.

Проголошення незалежності України розгорнуло нову сторінку історії Львівського державного університету. Відкрито нові факультети, кафедри, декілька десятків нових спеціальностей, удвоє збільшилась кількість студентів. При університеті відкрито науково-дослідні інститути, коледжі, ліцеї. Інтенсивно розвивається міжнародне співробітництво.

Упродовж багатьох років у різних соціально-політичних умовах у Львівському університеті започатковувались і розвивались нові наукові напрями, працювали всесвітньовідомі учені, плекались наукові школи.

ЛЬВІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ – один з найстаріших університетів Європи – відомий у світі своїми багатовіковими традиціями, високим рівнем наукових досліджень та підготовки фахівців.

11 жовтня 1999 року Указом Президента України Львівському державному університетові імені Івана Франка надано статус національного.

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

Виходить 4 рази на рік.

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопя

Редакційна колегія:

О. Біланюк

М. Бродин

П. Голод

С. Гончаренко

Я. Довгий

І. Климишин

Ю. Ключковський

Б. Лукіянець

Ю. Ранюк

Й. Стахіра

Р. Федорів

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

Комп'ютерний набір і верстка

СП "Євросвіт"

Адреса редакції:

редакція журналу "Світ фізики"

вул. Саксаганського, 1,

79005 м. Львів,

Україна

тел./факс 380 0322 72 68 11

sf@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!

Колектив журналу

С В І Т
ФІЗИКИ

вітає Вас

з Новим Роком та

Різдом Христовим!

Ми разом з Вами

відкриватимемо ще

незвіданий і таємничий,

фантастичний та реальний

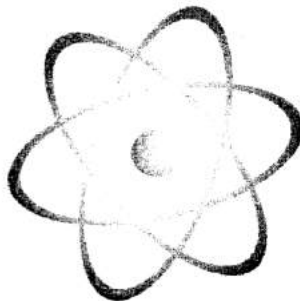
Світ фізики третього

тисячоліття, черпатимемо

нові знання, творче

натхнення, шукатимемо

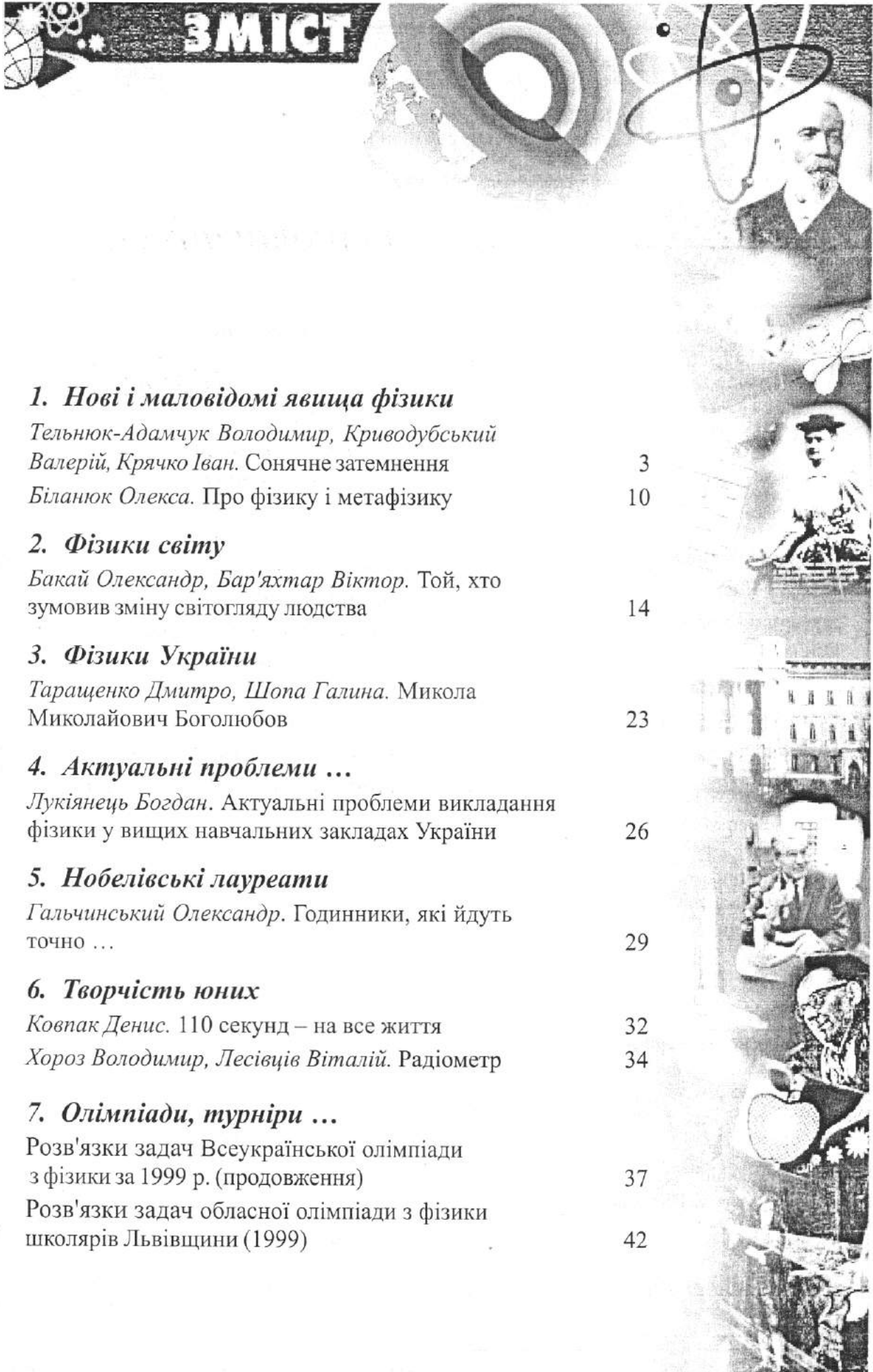
відповіді на безліч запитань ...



Передплатний індекс 22577

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

© СП "Євросвіт"



1. Нові і маловідомі явища фізики

Тельнюк-Адамчук Володимир, Криводубський Валерій, Крячко Іван. Сонячне затемнення

3

Біланюк Олекса. Про фізику і метафізику

10

2. Фізики світу

Бакай Олександр, Бар'яхтар Віктор. Той, хто зумовив зміну світогляду людства

14

3. Фізики України

Таращенко Дмитро, Шона Галина. Микола Миколайович Боголюбов

23

4. Актуальні проблеми ...

Лукіянець Богдан. Актуальні проблеми викладання фізики у вищих навчальних закладах України

26

5. Нобелівські лауреати

Гальчинський Олександр. Годинники, які йдуть точно ...

29

6. Творчість юних

Ковпак Денис. 110 секунд – на все життя

32

Хороз Володимир, Лесівців Віталій. Радіометр

34

7. Олімпіади, турніри ...

Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики за 1999 р. (продовження)

37

Розв'язки задач обласної олімпіади з фізики школярів Львівщини (1999)

42



11 серпня 1999 року сталося останнє у цьому тисячолітті затемнення Сонця, під час якого тінь Місяця (смуга повної фази) пройшла через центральні райони Європи і південь Азії. Вчені отримали унікальний шанс зробити важливі спостереження Сонця під час цього рідкісного природного явища. Наступне подібне явище можна буде спостерігати 2001 року у Південній Африці, а в Європі – лише 2026 року. На території ж України протягом наступних двох століть не буде жодного повного затемнення. Відбудуться лише три кільцеподібні затемнення 1 червня 2030, 23 липня 2093 та 5 серпня 2157 року.

Сонячне затемнення

Володимир Тельнюк-Адамчук

директор астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Т.Шевченка,

Валерій Криводубський

провідний науковий співробітник астрономічної обсерваторії Київського національного університету імені Т.Шевченка

Іван Крячко

директор Київського республіканського планетарію

Астрономи Київського університету регулярно споряджають експедиції у місця повних затемнень Сонця. Географія цих експедицій охоплює весь світ від островів Полінезії до арктичних пустель Північного океану. Під керівництвом проф. Сергія Всехсвятського було створено „Київську корональну школу”, відому своїми традиційними задачами, досягненнями в їх розв'язанні та успішними спостереженнями корони під час багатьох сонячних затемнень. Сонячна корона – суто зовнішні, дуже розріджені пласти атмосфери нашого денного світила з температурою плазми близько мільйона градусів, що простягаються на відстань до десяти і більше сонячних радіусів. Вона спостерігається лише під час повної фази сонячного затемнення, коли навколо диска Місяця, який перекриває яскраве світло фотосфери, раптово ніби спалахує поплясте променисте сяйво. Важливою особливістю корони є її промениста структура, яка в умовах високо йонізованої плазми відображає гідродинамічні рухи плазми, зумовлені конфігурацією силових ліній магнетного поля Сонця. Загальна форма корони змінюється з фазами циклу сонячної активності. У роки максимуму сонячної активності корона майже сферична, тоді як в мінімумі активності вона дуже витягнута вздовж екватора. Корональний газ розширюється з надзвуковою швидкістю в міжпланетний простір і у вигляді „сонячного вітру” досягає магнітосфери Землі. У

деяких місцях сонячної корони спостерігаються протяжні області зниженого світіння, які називають „корональними дірами”. Цим місцям притаманна відкрита магнетна конфігурація. Найпотужніші потоки сонячного вітру йдуть з областей корональних дір. При взаємодії з магнетосферою Землі потоки з корональних дір викликають на Землі рекурентні магнетні збурення.

Спостереження за сонячною короною, які протягом 60-ти років проводила „київська школа”, мають міжнародне визнання. Саме у Київському університеті вперше розроблено нову концепцію динамічної корони Сонця (Є. Пономарьов, 1957), що вказувала на існування регулярного витікання плазми від Сонця і яка передувала теорії сонячного вітру Юджина Паркера (США), а по суті була першим варіантом такої. У вивченні корони слід згадати піонерські розробки киян щодо ролі корональних дір у формування посиленних струменів сонячного вітру (В. Іванчук, 1960), відкриття надтонкої структури плазмових струменів у короні (С. Всехсвятський, М. Дзюбенко, В. Іванчук, Г. Рубо, 1968). Вперше в умовах наземних спостережень зареєстровано викид плазми (субтранзієнт) у короні Сонця (М. Дзюбенко, О. Несмянович, Г. Рубо разом з французькими колегами, 1973), встановлено, що реальний геліосферний струмовий шар у короні має складну неоднорідну структуру (В. Іванчук, 1998), детально вивчено взаємозв'язок між активними утвореннями на



різних рівнях сонячної атмосфери, формування на корональному рівні великомасштабних структур, що поширюються далі у міжпланетному, зокрема і біляземному, середовищі, і відіграють важливу роль у проблемі сонячно-земних зв'язків (С. Всехсвятський, В. Іванчук, М. Дзюбенко, Г. Нікольський, О. Несмянович, Г. Рубо).

Розроблено нові методи реєстрування неоднорідностей у сонячній плазмі, реєстрування виходів енергійних струменів часток з Сонця (Л. Курочка, 1990-ті роки), що можуть бути визначальними у завбаченні геоэффективних явищ. З кінця 1980-х років розроблено спеціальну фотометричну апаратуру для вивчення змінності радіуса Сонця на підставі реєстрування динаміки потоку сонячного випромінювання протягом періоду повної фази затемнення у точках близьких до країв смуги повного затемнення (Е. Гуртовенко, В. Тельнюк-Адамчук, В. Івченко, 1990-ті роки).

11 серпня 1999 року смуга повної фази затемнення проходила зовсім близько від південно-західного кордону України, що суттєво спрощувало, зокрема, транспортні проблеми експедиції. Київський університет спорядив автобусну поїздку до Бухареста, де висота Сонця над горизонтом під час затемнення була найбільшою (59°), а тривалість фази повного затемнення поблизу Бухареста – найдовшою (2 хв 23 с). До того ж між Київським та Бухарестським університетами два роки тому підписано угоду про наукове співробітництво, а астрономи Інституту Астрономії у Бухаресті та Астрономічної обсерваторії Київського університету плідно співпрацюють вже майже 10 років. Отож, ми їхали до своїх друзів, розраховували на допомогу у непередбачених ситуаціях і справді, румунські колеги допомагали нам чим могли, за що ми їм глибоко вдячні.

До експедиції увійшло 11 працівників кафедри астрономії та Астрономічної обсерваторії Київського національного університету, по одному представникові з Держкомнауки, Вінницького державного педагогічного університету, Інституту фізики НАН України. Дуже корисними були послуги члена експедиції Миколи Курмея, молдаванина за походженням, який виконував також функції перекладача. У Бухаресті у межах наукових проектів НАТО затемненню Сонця було приурочено міжнародну школу-конференцію з сонячних досліджень під час затемнень. Чотири

співробітники Астрономічної обсерваторії отримали гранти на участь у ній. Одночасно вони брали участь у науковій програмі експедиції. До того ж у програмі нашої експедиції у Болгарії (зокрема в експерименті Л. Курочки) брав участь з колегами один з авторів статті (І. Крячко).

Упродовж усього часу перебування експедиції у Румунії погода була напрочуд ясною, стояла спека до 40°C . Уважно слухали прогнози ... У Європі хазайнували циклони, але нас захищали Карпати. У день затемнення з'явилися ознаки загрози. Гірша прозорість, хмарки, ознаки нестабільності. У Бухаресті, на території Астрономічного інституту, де зосередилися інструменти для знімання корони нашої та інших експедицій, спостереженням, на жаль, завадила випадкова хмарка, що вкрила сонце як раз у момент повної фази.

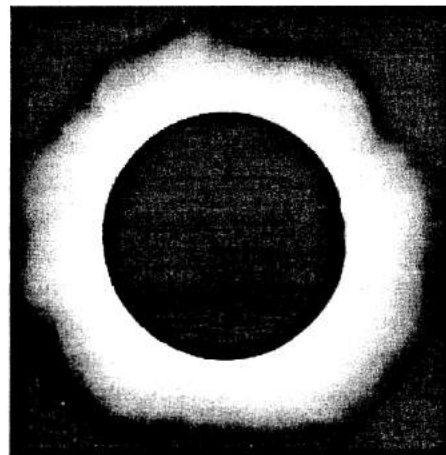


Фото 1. Зовнішня сонячна корона 11 серпня 1999 року. Експедиція Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Каварна, Болгарія. Спостерігачі - І. Крячко, В. Боровик

На щастя, у Болгарії з науковим матеріалом щодо корони проблем не було ніяких. Для вивчення структури і динаміки сонячної корони було отримано кольорові фото зовнішньої і внутрішньої корони (Іван Крячко, Валентина Боровик). Майже класична сферично-симетрична форма корони (радіально зорієнтовані навколо світила потужні тонкі промені) (фото 1 і 2), характерна для активного Сонця, свідчить, що наше денне світило наближається до епохи максимуму циклу сонячної активності (яка за прогнозами спеціалістів має наступати 2000 року). Зменшення яскравості корони поблизу південного полюса мабуть свід-



чить про існування там полярної корональної діри. За допомогою відеокамери знято демонстраційний кінофільм про часовий перебіг повного сонячного затемнення (Богдан Боровик). Для відпрацювання методики отримано чорно-біле телевізійне зображення сонячної корони в інфрачервоному діапазоні (Наталія Коваленко). Отримано також чорно-білі фотографії корони в ультрафіолетовій (Іван Крячко) і видимій (Андрій Дмитренко) ділянках спектра.



Фото 2. Внутрішня сонячна корона 11 серпня 1999 року. Експедиція Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Каварна, Болгарія. Спостерігачі — І. Крячко, В. Боровик

У місцях спостережень на південь та на північ від столиці Румунії, де було встановлено фотометричну апаратуру, тривоги виявилися марними. На час затемнення навколо Сонця було ясне небо, ми отримали цінний спостережний матеріал для визначення діаметра Сонця.

Діаметр Сонця вже досить давно добре відомий. Для розрахунку ефемерид затемнень, астрометричних ефемерид, вивчення фізичних процесів у Сонці використовують стандартне (приведене до середньої відстані Сонце - Земля) значення кутового сонячного радіуса, $959.63''$. Знаючи масштаби земної орбіти легко перевести це значення у лінійну міру ($6.96 \cdot 10^5$ км). Починаючи з середини минулого сторіччя, були спроби вивчити змінність цієї величини, однак висновки були неоднозначними. У другій половині нашого сторіччя ці дослідження супроводилися також спробами визначити величину сплюсненості Сонця (дослідження груп Г. Гілла та Р. Дикке), яка має

велике значення і для уявлень про будову Сонця, для фізики Сонця, для тонких ефектів небесної механіки, таких як особливості руху перигелія планет, а, отже, для перевірки висновків загальної теорії відносності (ЗТО), навіть як певний тест для самої ЗТО (для тих, хто сумнівається та пропонує її альтернативні варіанти).

Слід зазначити, що Сонце, як найближчу до нас зорю, астрономи вивчили досить, щоб не чекати якихось помітних довготермінових (вікових) систематичних змін його радіуса з часом, в усякому разі більших за $0.000004''$ на століття для теперішньої стадії еволюції нашого світила. Ця зміна впливає з наших теперішніх уявлень про енергетику Сонця та еволюцію зірок. Та з 1980-х років проблема радіуса Сонця дістала майже детективне продовження, починаючи з сенсаційного повідомлення американців Ж. Едді та А. Бурназяна. Їх аналіз Гринвіцького ряду меридіанних спостережень Сонця привів до висновку про вікове зменшення розміру Сонця на $2''$ за століття! Хоча ці висновки згодом спростували британські астрометристами, добре знайомі зі своїм меридіанним колом, було розпочато (і тривають зараз) широкопланові дослідження проблеми, дослідження, що привели і до залучення старих спостережень проходження Меркурія диском Сонця (300-річний ряд), інші спостереження, і головне інтенсифіковано пошуки нових методів, спроможних дати точніші, впевненіші висновки.

Ці дослідження стимулювалися широким та плідним вивченням сонячних осциляцій, проблемою дефіциту сонячних нейтрино і бажанням знайти пояснення змін радіуса та процесів, що їх можуть викликати. Не останньою мотивацією було і намагання пов'язати такі зміни зі зміною кліматичних умов на Землі. Відразу наголосимо, що зміни діаметра Сонця істотно більші від наведених вище еволюційних ($0.000004''$ на століття) астрономи розглядають як вияв процесів у вищих рівнях атмосфери Сонця, які не зумовлюються і не можуть зумовлюватися якимось змінами у ядрі Сонця, де генерується енергія, що підтримує Сонце протягом багатьох мільярдів років.

Радіус Сонця R , його світність L та ефективна температура T пов'язані простим співвідношенням:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$



Звідси відносна зміна світності пов'язана з відносними змінами двох інших параметрів як

$$\Delta L/L = 2 \Delta R/R + 4 \Delta T/T.$$

Згідно з оцінками, зміни світності на величину 0.5 % достатньо, щоб пояснити зміни клімату, що спостерігаються протягом останнього сторіччя [2]. Зміна L на 1 % може призвести до зміни середньої температури в тропосфері на 0.65 K [3]. Проте наведені оцінки значно перевищують ті значення змін сонячного діаметра, які можна очікувати з існуючих моделей Сонця [1]. За стандартною моделлю Сонця його радіус у нашу епоху в ході еволюції, як і світність, зростає з темпом, меншим ніж $0.000004''$ на сторіччя. Про реєстрацію у наш час таких малих змін прямими вимірюваннями радіуса годі й говорити. І головне тут не недостатність досягнутої в астрометрії точності (через 10 років для координат зірок вони будуть досягнені), а у складності фотометричної структури видимої „поверхні” Сонця.

Особливе значення для побудови моделей конвективної зони мають прямі вимірювання світності та діаметра і сплюсненості сонячного диска. Процеси, що тут відбуваються, можуть спричинювати варіації радіуса Сонця на значно менших, ніж еволюційні зміни, відрізках часу $\sim 10^5 - 10^9$ років, та вікові варіації на відрізках часу в $\sim 10^2 - 10^5$ років, а амплітуда цих варіацій накладає обмеження на параметри моделі конвективної зони. Саме ці механізми і можуть бути відповідальними за можливі варіації сонячного радіуса й світності, свідомства яких можна шукати в історії Землі та людської цивілізації [1]. Одним із результатів таких пошуків є висновок про можливе зменшення сонячного радіуса приблизно на $0.34''$ за період між 1715 та 1979 р., отриманий з аналізу даних спостережень повних сонячних затемнень поблизу межі смуги повного затемнення [4]. Цей результат, а також результати інших досліджень змін діаметра Сонця за наявними спостережними даними [1], з огляду на ці оцінки впливу змін цього параметра на наші уявлення про будову Сонця, на клімат Землі, суттєво вплинув на інтерес до проблеми вивчення змінності сонячного діаметра.

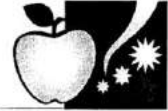
Деякі вчені на підставі супутникових досліджень схилиються до думки, що світність Сонця залежить від фази сонячного циклу. Поблизу максимуму сонячної активності, коли на Сонці спостерігається найбільша кількість розвинених тем-

них плям, наше денне світило в цей час, як це не дивно, здається яскравішим, ніж у мінімумі кількості сонячних плям. Це намагаються пояснити тим, що дефіцит випромінювання темних плям, носіїв потужних магнетних полів, може перекриватися значно протяжнішими яскравими ділянками сильного магнетизму (так званими факелами). Крім того, для магнетної активності характерні довгоперіодні варіації (вікові і т.п.), які згідно з вище згаданим підходом до проблеми також мають впливати на світність Сонця.

Варіації величини магнітної індукції Сонця можна спробувати пов'язати зі змінами розмірів Сонця. За законом збереження обертального моменту зміни радіуса Сонця ведуть до варіацій його кутової швидкості (при зменшенні радіуса швидкість обертання збільшується і навпаки). Варіації кутової швидкості через механізм турбулентного динамо можуть впливати на інтенсивність збуджуваного магнетного поля.

Розроблено низку наземних методів вивчення розмірів та форми видимого сонячного диска шляхом прямих вимірювань в оптичному та ближньому інфрачервоному діапазоні [1] (саме тут спостерігається чіткий край сонячного диска, до того ж, в діапазоні 0.3 - 3.0 мкм зосереджено 0.99 % енергії електромагнітного випромінювання Сонця). Це класичні методи візуальних спостережень (за якими одержано довгі ряди даних), а саме такі спостереження: з меридіанними колами; геліометрами; мікрометрами; астролябією; зображення Сонця, спроектованого на екран; проходження Меркурія по диску Сонця; на краях смуги повного сонячного затемнення). З уваги на широке використання в астрономії фотографічних та фотоелектричних детекторів випромінювання було розроблено методи визначення діаметра та сплюсненості диска під час спектрокінематографічних та фотоелектричних спостережень сонячних затемнень.

Останнім часом збільшується кількість спостережень за допомогою спеціально сконструйованих для цього інструментів наземного та стратосферного базування. В Астрономічній обсерваторії Київського університету розроблено принципову схему приладу космічного базування. Уже два десятиліття міжнародна група (IOTA, International Occultation Timing Association) займається визначенням діаметра Сонця з кінематографічних спостережень на межі смуг сонячних затемнень,



отримуючи точність визначень на рівні 0.1" і краще. За стандарт кута тут береться діаметр Місяця, враховуються особливості місячного краю, теорія руху Землі та Місяця. Подібну схему, але на основі фотометричних записів розробили університетські астрономи та реалізували під час затемнень 1991 р. у Мексиці та 1999 р. у Румунії.

Деякі результати визначення сплюсненості сонячного диска

Група дослідників	Рік	Сплюсненість ($\times 10^{-6}$)
Dicke	1966	42.3 ± 3.0
Hill & Stebbins	1973	9.6 ± 6.5
Dicke et. al.	1983	18.8 ± 1.4
- // -	1984	6.2 ± 1.4
- // -	1985	15.2 ± 2.3
Sofia et. al.	1992	8.6 ± 0.9

Останніми роками визначено сонячний діаметр принципово новими методами. Так, за доплерівськими спостереженнями Сонця (Michelson Doppler Imager, MDI) з борту космічного апарата SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) та за даними наземної мережі спостережних станцій GONG (Global Oscillation Network Group) оцінено так званий сейсмічний радіус Сонця.

Точність наявних визначень діаметра та сплюсненості Сонця ще недостатня для певного виявлення їх варіацій з часом. На точність вимірювань впливає багато факторів, пов'язаних як з особливостями апаратури, так і з умовами спостережень, особливостями спостерігача, частотним інтервалом спектра, в якому ведуться спостереження. Меншою мірою атмосферні фактори

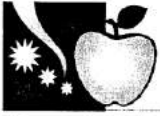
впливають на результати визначення сонячного діаметра за спостереженнями проходження Меркурія по диску Сонця та за спостереженнями сонячних затемнень. Оскільки останнє явище трапляється відносно рідко (один раз на один – два роки), а місячна тінь швидко пробігає уздовж вузької смоги на земній поверхні, успішність його спостережень залежить від погодних факторів (необхідність чистого неба) і пов'язана з експедиціями в місця повних затемнень.

До експерименту „Діаметр Сонця” – точних фотоелектричних вимірювань потоку сонячного випромінювання в оптичній ділянці спектра під час повного сонячного затемнення для визначення діаметра Сонця з точністю до кількох десятків кілометрів – київські астрономи готувалися протягом майже десяти років. В обсерваторії та на кафедрі астрономії Київського національного університету імені Тараса Шевченка ще на початку 1990-х років було розроблено відповідну програму спостережень і виготовлена спеціалізована апаратура – серія експедиційних електрофотометрів на основі кремнієвих фотодіодів. Вперше вони були апробовані під час повних сонячних затемнень 1990 р. на Чукотці та 1991 р. в Мексиці [5].

Суть методики експерименту полягає у тому, що сприйнятий фотодіодом потік випромінювання від Сонця трансформується у послідовність електроімпульсів, частота яких пропорційна амплітуді потоку випромінювання. Ці сигнали записуються на магнітну стрічку по одному із каналів стереомагнітофона, тоді як на іншому каналі реєструється еталонна частота (1024 Гц) від кварцевого резонатора, що задає часову шкалу даних,

Результати деяких визначень радіуса Сонця

Спосіб спостережень	Період	Значення	Примітка
Краї смуги затемнення	1976, 1979, 1980—1987	$959.62 \pm 0.1''$	Спостереження візуальні та з відеокамерами.
Затемнення. Спектрокінематографія	1970, 1973, 1980, 1981, 1991	$959.85 \pm 0.1''$	
Меридіанне коло, Токіо	1985 - 1994	$959.83 \pm 0.1''$	Фотоелектрія
Астролябія, Іспанія	1992 р.	$958.54 \pm 1.5''$	
Астролябія, Франція	1989 – 1992	$959.37 \pm 0.3''$	Візуальні спостереження
- // -	- // -	$959.40 \pm 0.15''$	CCD-детектор
Астролябія, Чилі	1990 - 1995	$960.45 \pm 0.5''$	Візуальні спостереження
Сканування диска, Канари	1996	$959.73 \pm 0.8''$	CCD-детектор
- // -	- // -	$960.53 \pm 0.2''$	Візуальні спостереження
Сканування диска, Kit-Peak	1981	$959.62 \pm 0.2''$	Фотоелектричний детектор. Середнє за рік.
Секстант сонячного диску, США	11.10.1990 р.	$959.60 \pm 0.2''$	Стратосферні вимірювання, висота 36 км.
- // -	30.09.1992 р.	$959.53 \pm 0.85''$	Те ж. Екваторіальний радіус.



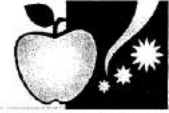
а також імпульси прив'язки до всесвітнього часу (з частотою 1 Гц) [2]. У результаті експерименту ми можемо кожному моментові часу поставити у відповідність інтенсивність випромінювання Сонця. Вся інформація також відтворюється звуковим каналом, що дає змогу спостерігачеві за частотою вихідного сигналу контролювати перебіг експерименту. В правому каналі стереомагнітофона має звучати сигнал фотометра, частота якого залежить від освітленості фотокатода. Протягом часу, що охоплює другий і третій контакти, здійснюється неперервна реєстрація блиску сонячного серпа в межах одного рівня чутливості фотометра. З урахуванням калібрувальних вимірювань до першого і після четвертого контактів повна програма експерименту передбачає майже 100 операцій протягом шести годин.

Як відомо, ширина смуги місячної тіні на земній поверхності становила приблизно 112 км. 11 серпня три спостерігачі (Микола Буромський, Володимир Тельнюк-Адамчук, Юрій Тарануха) розмістилися поблизу північного кордону цієї смуги (у районі міста Урзичени) з невеликим інтервалом (3 – 5 км) вздовж лінії, перпендикулярної до смуги, а три (Василь Данилевський, Валерій Криводубський, Олександр Молотай) – поблизу південної (на околиці міст Дрегенешти-Влажка і Бужорени). За якусь годину в кукурудзяному полі, на стадіоні, поблизу млина, неподалік шосе розвернули спостережні пункти, що склалися з експедиційного електрофотометра, блока перетворення сигналів і стереомагнітофона, забезпечених автономним живленням. За розробленою нами методикою спостереження розпочалися за дві години до першого контакту Місяця з Сонцем. На цьому етапі проводилися калібрувальні вимірювання потоку відцілого диска Сонця та навколосонячного ореолу в оптичній ділянці спектра. Особливо хвилююча мить настала, звичайно, незадовго до повної фази затемнення. Адже погода у цей день була настійкою, і якщо на першому етапі спостережень короткочасна хмарність не заважала експериментові, то під час повної фази затемнення необхідно було абсолютно чисте небо. І природа змилювала. У всіх шести точках спостережень на момент затемнення небо очистилось і найважливішу частину програми – реєстрацію частотного сигналу поблизу другого і третього контактів і під час повної фази затемнення – успішно виконали усі спостерігачі.

Потім протягом ще трьох годин продовжувалася завершальна частина програми – знову калібрувальні вимірювання.

[Ліричний відступ одного з авторів статті – Криводубського В.]

Незвичний стан охоплює під час повної фази. „Погасло” [Сховалося] Сонце, настали сутінки, різко похолодало, зникли кольори доквілля, спалахнула корона – мерехтливе холодне світло попелястого кольору, з'явилася Венера і яскраві зорі. Чомусь дуже тихо (мабуть щось подібне відчувають воїни перед боєм). Принишкла природа, стихло птаство, і тільки реве занепокоєна худоба. Якись секунди, але як блискавка пронизують мозок думки про гармонію Всесвіту (видно не даремно для землян виявилися сумірними спостережні кутові розміри Місяця і Сонця), про плинність життя, про те, що всі ми діти Сонця і завдячуємо йому своїм існуванням, тому маємо шанувати все, що воно створило навколо нас, щоб не порушити, не дай Бог, гармонію світу. Приголомшливий ефект викликає те, що наче жива „ворушиться” сонячна корона. Адже кожний геліофізик знає, що характерний час зміни структур у короні порядку від кількох десятків хвилин до годин, і тому протягом кількох секунд не повинно бути помітно еволюції корони. Секундних змін не фіксує жодний технічний засіб (наприклад, відеокамера). І в той же час більшість спостерігачів підтверджує ефект „ворушіння” корони. Мабуть він пов'язаний з турбулентними явищами в земній атмосфері (можливо зумовленими різким падінням температури повітря поблизу земної поверхні під час затемнення), унікальними можливостями та особливостями сприйняття інформації нашим органом зору – оком. На душі тривожно, адже все це супроводжується ще й моторошним низькочастотним звуковим сигналом від апаратури. (І раптом надзвичайний вибух радості!) Нарешті спочатку ледь помітно, а далі швидко зростає той сигнал... Спалахнув перший промінь Сонця і навколишній світ заграва всіма барвами веселки, стрімко пішла вгору частота звукового сигналу. Яке полегшення на душі і серці! Життя продовжується. Оскільки спостерігач прив'язаний до свого експерименту, створюється відчуття, що першим про це сповістив звуковий сигнал.



Хто його знає, можливо Всевишній приблизно раз на рік розіграє „небесний спектакль для землян”, аби люди, заглянувши на хвилину у „світ без Сонця,” мали змогу відчутти Гармонію Природи, і, на мить затумувавши подих, задумались над сенсом нашого буття. Можливо, це переторогалюдству. Адже Природа нічого не робить марно ...]



Фото 3. Учасники наукової експедиції Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Бухарест, Румунія

Для визначення параметрів затемнення, сигнали фотометрів за допомогою спеціального обладнання, яке створили київські астрономи, перетворюються з аналогової форми в цифрову. Тривалість фази затемнення дуже чутлива до зміни відстані спостерігача від межі смуги повного затемнення (наближаючись до краю смуги, тривалість різко спадає). Спостереження моментів контактів у кількох точках на різних відстанях до краю смуги повного затемнення (з точністю 0.1 с) дає змогу побудувати залежність тривалості фази затемнення від відстані до краю смуги. Якщо знати координати точок спостережень з похибкою до 100 м, то на підставі цього можна визначити ширину місячної тіні на земній поверхні. Тоді, вважаючи діаметр Місяця точно відомим (він, по суті, є стандартом стабільного кута), можна виз-

начити і діаметр Сонця з похибкою до 0.1". Особливо точні визначення діаметра Сонця необхідні для виявлення можливих його варіацій протягом кількох років та вивчення можливих вікових змін. Інтерес до проблеми спричинений розвитком теоретичних і спостережних досліджень з осциляцій Сонця (геліосейсмологічних досліджень), вивченням сплюсненості Сонця, відомим дефіцитом потоку сонячного нейтрино та ін. За найновішими дослідженнями припускають, що для сонячного радіуса характерні зміни (до 150 км), пов'язані з фазою сонячного циклу.

Наш експеримент дає змогу перевірити гіпотезу про довгочасові варіації сонячного діаметра. Підтвердження їх може зіграти важливу роль в оцінюванні впливу можливих варіацій світності Сонця на зміни клімату Землі, так і в побудові моделей сонячної конвективної зони і розробленні механізмів генерації глобального магнетного поля Сонця. Для апробації розробленої методики київські астрономи вже зробили оцінки розмірів Сонця на підставі своїх спостережень затемнення в Мексиці [5]. Отримане середнє значення кутового радіуса Сонця $959.69'' \pm 0.12''$ не відхиляється суттєво від його стандартного значення та від результатів, одержаних за спостереженнями з іншими методиками. Зараз учасники експерименту опрацьовують отримані дані затемнення Сонця 1999 року і сподіваються на вагомий результат.

1. Вариации глобальных характеристик Солнца / отв. ред. Э. А. Гуртовенко. Киев, 1992, 304 с.
2. Sofia S., Endal A.S. Solar Variability. Comments Astrophys., 1982, vol. 9, No. 6, p. 277-300.
3. Поток энергии Солнца и его изменения. М., 1980, 560 с.
4. Dunham D. W. at al. Observations of a probable change in the solar radius between 1715 and 1979 // Science, 1980, v. 210, p. 1243-1245.
5. Гуртовенко Э.А., Тельнюк-Адамчук В.В., Окулов С.М., Буздуган Ю.А., Олійник П.А. Наблюдения солнечного затмения 11 июля 1991 г. в Мексике с целью определения солнечного диаметра // Астрон. циркуляр. 1991. № 1550. С. 29-30.

Наукова експедиція фінансувалась через позабюджетний фонд Київського національного університету імені Тараса Шевченка і грант Державного фонду фундаментальних досліджень Держкомнауки України (проект № 2.4/682).



ПРО ФІЗИКУ І МЕТАФІЗИКУ

Олекса Біланюк

президент Української Вільної Академії Наук (США)

Що таке “маса”?

Ми живемо у час тріумфів природознавчих наук. Ніколи в історії так багато вчених не спрямовувало своїх зусиль на дослідження природи і залучення її на службу людству. Якщо б списати імена всіх великих науковців, від А до Я, від єгипетського інженера Амготепа, який приблизно 5000 років тому спорудив першу стабільну піраміду, до академіка Ярослава Яцківа, що користуючись сателітними лазерами, визначив точне положення полюсів Землі і мандрівку (нотацію) осі її обертання, ми б побачили, що із усіх науковців, які за останніх п'ять тисячоліть понад 90 % діяли у ХХ сторіччі.

Попри усі свої небувалі успіхи, сучасні вчені в загальному відзначаються глибокою скромністю. Минулися самовпевнені твердження доби Лапласа (Pierre-Simon marquis de Laplace, 1749-1827) мовляв з часом наука дослідить і зрозуміє усе. Досвід ХХ сторіччя невмолимо вказує на те, як наука шоразу опанує нову ділянку природи, на обріях виринають нові, неочікувані питання.

Більшість сучасних науковців виразно застерігає, що їхнє завдання описувати і передбачати явища природи, а не зрозуміти її глибинну суть. Призадумаймося над цим розрізненням. Чи справді фізика не має на меті дійти до розуміння основ природи? Більшість подумає – та ж фізика не має на меті на меті нічого іншого! Адже зрозуміти природу – центральна тема фізики. Для чого ж ми вивчали фізику, як не на те, щоб зрозуміти чому супутники не падають, а кружляють, або чому антеною можна надавати інформацію радіохвилями?

Так, фізика дає відповіді на такі запитання. Але чи справді вона пояснює суть цих явищ? Чи може вона лише систематизує їх опис і ми задовольняємось гарно пов'язаною і дуже корисною баечкою? Глибинний розгляд показує, що фізика справді не виходить поза „зачароване коло” явищ, і про відкриття їхньої суті поки що лише мріє.

Розгляньмо це на простому досвідченні. Візьмімо олівець і випустім його з руки. Він падає. Дозвольте запитати Вас: чому він падає? Більшість читачів одразу відповідь: „Бо маси себе

взаємно притягають; Земля притягає олівець гравітаційною силою і тому він падає!” Відповідь не погана, але чи вона нам щось каже? Досить замінити запитання „Чому олівець падає?” запитанням „Чому маси притягаються?” – і ми бачимо, що наша перша відповідь нічого не пояснила.

Яка ж тоді правильна відповідь? Можна запропонувати ось яку: „Присутність мас вносить кривину у чотиривимірний континуум часу-простору і маси рухаються по геодезиках аж поки енергія системи не досягне мінімуму.” Тепер читач здвигне раменами та подумає: „Але ж складна та фізика ...” і залишиться під враженням, що відповідь на запитання чому маси притягаються?” відома, але без вищого курсу загальної теорії тяжіння цієї відповіді зрозуміти не вдасться.

Насправді оця третя відповідь не багато краща за перших дві. Ми знов можемо запитати: а чому маси вносять кривину у чотиривимірний простір? Чому вони рухаються по геодезиках? І т. д., і т. д.

Пригадаємо собі з наших діточих літ нашу здібність запитувати дорослих такими ланцюговими реакціями запитань. З віком ми чомусь притуплюємо нашу цікавість і скоро задовольняємось поверховими, або зовсім незрозуміло складними відповідями. Як із сарказмом сказав Й. В. Гете (Johann Wolfgang von Goethe 1749-1832): „Wo die Begriffe fehlen, da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein ...” (Суть цього вислову: „Коли щось важко пояснити, достатньо віднайти відповідне слівце.”) У нашому прикладі: „Чому олівець падає?” – треба відповісти: „Бо діє гравітація!” І все зрозуміло ...

Та хоч на хвилину не даймо заговоритися. Відповім на нашу наївну цікавість і запитаймо ще раз: „Врешті-врешт, чому цей олівець падає!?” Єдина чесна відповідь на це запитання така: „Ми не знаємо.” Хтось може подумати що така відповідь не серйозна. Як же так, ми запустили зонди попри Юпітера і Нептуна, людина вже ходила по Місяці і невдовзі полетить на Марс, а ми не знаємо чому олівець падає на землю!?



Ні, не знаємо. Ніхто з фізиків не знає, бо фізика на основне запитання „*чому*” не відповідає. Це не її справа. Її справа передбачити *за скільки* секунд і з *якою* траєкторією він буде падати і *де* він упаде. На запитання *коли, де і як* сучасна фізика дає відповіді з подиву гідною точністю. Та ми не сміємо забувати, що усі неперевершені успіхи фізики відносяться до *явищ*, а не їхньої суті. Ми не знаємо суті навіть найосновніших предметів. Ось ми користувалися словом *маса*, а чи ми знаємо, що таке маса? Насправді – ні. Ми знаємо до найбільших подробиць, як ця фізична величина проявляється в різних обставинах, але ми зовсім не знаємо, чим по суті є маса. Це з гумором висловив ізраїльський Макс Яммер (Max Jammer) у книжці *The Concept of Mass*: „Mass does not do what it does because it is what it is, but it is what it is because it does what it does.” („*Маса не діє так, як вона діє, тому що вона є тим, чим вона є, але вона є тим, чим вона є, бо вона діє так, як вона діє.*”) Коли нас „притиснути до муру”, ми мусимо зізнатися, що ми не лише не знаємо, чому маси притягаються, але ми навіть не знаємо, що таке в своїй суті є таке щоденне поняття, як *маса*. Знаємо лише, що за допомогою математичних символів ми можемо точно описати і навіть передбачити *явища* спричинені тим чимось, що ми називаємо масою. Яка суть тієї маси і чому ми можемо описати її дію математичними символами – відповідати на такі запитання не є в компетенції фізики. Це вже сфера метафізики. Та поки що і вона тут безпорадна ...

Мікросвіт атома

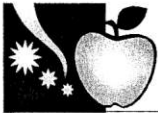
Що ми можемо сказати про таку недоступну для спостереження річ, як атом? Коли ми говоримо, що ядро атома має розмір 10^{-13} см, ми не лише переходимо у світ мікроліліпутів, де усі виміри зменшені, але й входимо у світ зовсім відмінний від нашого. Цей світ прекрасно описав наш земляк-одесит Джордж Ґамов (1904-1968) у його фантазії *Mr. Tomkins Explores the Atom*. У такому світі нам було б важко потрапити ключем у замок, бо закон невизначеності Гейзенберга робив би місце замка невизначеним. Ми знали б лише пересічне положення дірки для Ключа і могли б потрапити в неї лише після довгого намагання. А коли б нам набридло пробувати потрапити ключем у дірку замка, вистачило б по-

стояти біля дверей і за якийсь час неозначеність нашого перебування довела б до того, що ми опинились би з іншого боку дверей, не відкриваючи їх (мрія п'яного...).

Не треба дивуватися, коли опис такого світу тверезій людині звучить недоречно. Наша мова основана на зображеннях наших смислів, і вона мало відрізняється від мови наших печерних предків. Не дивина, що теза про неможливість одночасно визначити положення і швидкість атома, про двоїсту природу частинок-хвиль, і про квантову заплутаність (quantum entanglement) пари електронів – в такій мові звучить кумедно. Можна припустити, що коли б ми прожили в такому мікросвіті 10 000 років, наша мова розвинулась би відповідно. Тоді опис такого світу як наш, де кожна річ має свою ідентичність і точне положення, звучав би неймовірно.

Та вже так склалося, що ми сплутані нашою печерною мовою і про світ атомів говорити не вміємо. Ми навчилися минати цю складність, відкликаючись до конкретних аналогій, що існують між нашим світом і світом атомів. Фізики постійно користуються такими аналогічними описами. У світі це називається *моделевим зображенням*. Як приклад, можна навести допоміжну модель атомної системи. У цій, так званій моделі Бора (Niels Henrik David Bohr, 1885-1962) атом представляємо на взірць сонячної системи, де ядро править за центр, а електрони кружляють навколо нього, немов планети навколо Сонця. Та фізики не забувають, що такий опис ядра відповідає речевій дійсності приблизно на стільки, як вислів „ця дівчина, наче весна.” Цей вислів має на меті передати, що дівчина гарна, весела і життєрадісна, але аж ніяк, що дівчині на голові почав танути сніг, а під лівим вухом з'явилися підсніжники. Справа з планетарною моделлю атома подібна. Це зображення відноситься до конкретних аналогій і аж ніяк не має на меті відобразити дійсний стан речей, мовляв в атомі якісь кульки-електрони справді шугають по означених орбітах. Дійсний стан явищ не вкладається в нашу мову.

А все ж таки, на превелике диво, дійсний стан атома можна відносно точно описати за допомогою абстрактних математичних символів. Відношення цих символів до дійсності – велика метафізична загадка, але воно визволяє нас від обмежень нашої щоденної мови.



Космічний макросвіт

Дивна пов'язаність математичних структур з фізичним світом виявилася напрочуд плідною в іншій ділянці, де наша уява стає безсилою: в описі космічних безмеж. Коли ми беремось говорити про відстані, яких світлові подолати бере тисячу мільйонів років, ми не сміємо очікувати, що наші слова в силі правильно передати, а наша уява змалювати, такі простори. Як у дослідженні атома, так і в космології з'ясувалося, що висновки про космос, які випливають із звичайного побільшення нашого оточення, не згоджуються із спостереженнями. Геометрія великих віддалень виявилася відмінною від тієї, яку ми пізнали нашим щоденним досвідом. Цю геометрію не важко описати математичними символами, але неможливо описати розмовною мовою.

Цікаво зауважити, що дивовижна геометрія, що описує космічні простори, зродилася в людському умі повністю незалежно від спостережень. Цю так звану *не-Евклідову геометрію* створили у XIX сторіччі математики Ніколай Лобачевський (1793-1856), Янош Больяй (János Bolyai, 1802-1860) та Г.Ф.Б.Ріман (Georg Friedrich Bernhard Riemann, 1826-1866) незалежно один від одного. Довгі роки вона припадала пороком, як інтелектуальний курйоз. Аж коли Альберт Айнштайн (Albert Einstein, 1879-1955) довів, що прямолінійна Евклідова геометрія не дає правильного опису явищ на астрономічній шкалі, ці криволінійні геометрії відшукано із забуття. З'ясувалося, що вони здатні краще описати космос.

Ані наша уява, ані наша мова не в силі зрозуміло передати такі основні прикмети цієї геометрії, як кривину простору, чи можливу замкненість Всесвіту. Щоденний досвід навчив нас, що від цієї точки можна віддалюватись щоразу більше. Натомість у Рімановому просторі, відходячи по прямій лінії від цієї точки, Ви будете якийсь час від неї віддалятися, але згодом почнете до неї наблизитися з протилежного боку. Коли це звучить дивно, пригадайте стан геометрії у середньовіччі. Тоді Земля здавалась усім плоскою. Як на вас дивились би тоді люди, коли Ви показали б на плоскій карті, що поплили кораблем на захід, а повернулися зі сходу!? Так як поверхню круглої Землі ми можемо зобразити плоскою моделлю карти, так поверхня кулі може служити моделлю Ріманового простору. На плоскій карті Землі відповідні точки на лівім і правім краю позначають цю саму точку на поверхні Землі. Коли користу-

ватися поверхнею кулі, як картою, тоді протилежні кінці будь-якого проміру тієї кулі позначають цю саму точку в просторі. Зображення такої геометрії в нашій уяві ми створити не можемо, бо повсякденний досвід не придбав для нашої пам'яті елементів з яких образ такої геометрії можна б скласти.

pragma – logos

Можливість описувати і точно передбачати фізичні явища шляхом математичних рівнянь – однією з найбільших загадок метафізики. Невловима пов'язаність математичних абстракцій з конкретним фізичним світом є ще загадковішою, коли взяти до уваги, що ці дві ділянки повністю „відрубні” логічно. Математика робить свої висновки *аналітично*, з аксіом поставлених *apriori*. Природознавчі науки діють *синтетично*, і їхні висновки є *aposteriori*. Формальна логіка доводить, що ці два процеси вповні незалежні один від одного. Аналітичні висновки математики не обов'язкові для природи, на що вказує безліч відкинутих теорій. Експериментальні синтетичні висновки не мають жодного впливу на висновки математичні. Коли бачимо, що ця теорія неправильна, ми не маємо на увазі, що ми зробили помилку в математичних розрахунках (хоча трапляється і таке ...). Ці розрахунки залишаються математично правильними, чи збігаються вони із спостереженням, чи ні. Ми замінюємо теорію іншою, в надії, що її висновки вже будуть узгоджені з практикою.

При усій цій незалежності сфер теорії та експерименту незаперечним залишається факт, що математичні висновки деяких теорій ведуть до правильних „пророцтв”, тобто вони точно передбачають майбутні або і неочікувані явища, що їх можемо пересвідчити досвідом. Такі передбачення, зазвичай, мають і практичні наслідки. Ми вже навчилися використовувати лазери у тонкій хірургії, ми вже зуміли примусити осколок кремнію виконувати неймовірні завдання в комп'ютері, і незабаром настільки користатимемо з сонячної енергії, що не треба буде журитися тим, що вже закінчується запас газу, нафти чи вугілля.

Та це не означає, що ми збагнули глибоку суть явищ, що їх ми (змусили) служити людству. Це дошкульно турбує вдумливих учених та сповнює їх почуттями сором'язливості та загадковості. У той час більшість технологій, що зосереджують



свої зусилля на практичному використанні здобутків фундаментальних наук, не зустрічаються з цією концептуальною прірвою і це зовсім закономірно. Прикладна технологія і фундаментальні дослідження взаємно доповнюються. Завдання технологів творити для людства кращі матеріальні умови. Одночасно завданням теоретиків є не лише відкривати для технологів нові аспекти фізичного світу, але також намагатися збагнути глибоку суть фізичного світу і задовольнити стремління людського духу до пізнання. Легендарний Фауст був готовий своєю душою віддати за таке зрозуміння:

*„Dass ich erkenne was die Welt
Im Innersten zusammenhält,
Schau' alle Wirkungskraft und Samen
Und tu' nicht mehr in Worten kramen...”*

(У перекладі Миколи Лукаша :

*„Щоб я збагнув почин думок
І світу внутрішній зв'язок,
Щоб я пізнав основ основу
А не кидав слова-полову... ”)*

Та поки що вчені, які сягають до пограниччя відомого, здебільшого усвідомлюють собі, що доглибинна суть явищ, які становлять наш світ, ще невловима.

Натяк про цю сутність ми все ж таки отримуємо з факту, що єдиний підхід надійно описати і передбачити природу іде через абстрактне твориво інтелекту: математичну інформатику. Вона явилася мовою, що з однаковим успіхом охоплює увесь діапазон фізичних явищ, від суперсиметрії елементарних частинок аж до геометрії космічних просторів. У світі технологій, де наші смисли перенасичені враженнями, важко збагнути глибину цього вияву. Та саме в цій загадковій пов'язаності фізичного світу („*pragma*”) зі світом інтелекту („*logos*”) можна старатися добачити ключ до сутності невловимої Природи. Невже ці світи одне і те ж?

Замість епілогу

*„На початку було слово (logos)...
Усе постало з нього і без нього не постало
нічого, що постало (pragma)”.*

Іван І:І

Читайте на цю ж тему:

1. Eugene P. Wigner. The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences // Communications on Pure and Applied Mathematics. 1960. N 13. P. 1-14.
2. René Thom. *Prédire n'est pas expliquer*. EsHel. Paris, 1991.
3. Dominique Lambert. L'incroyable efficacité des mathématiques // La Recherche. Janvier. 1999. P. 48-55.
4. B. Roy Frieden : Physics from Fisher Information : A Unification. Cambridge University Press, 1999. February.

Оцей есе автор присвячує світлій пам'яті професора Романа Гайди



До 100-річчя від дня народження Олександра Смакули

II Міжнародний Смакуловий симпозіум, присвячений 100-річчю від дня народження видатного українського фізика Олександра СМАКУЛИ, відбудеться 6-10 вересня 2000 року в м. Тернополі. Тематика симпозіуму: фундаментальні проблеми сучасної фізики; фізика конденсованих середовищ; оптика кристалів і тонких плівок; сучасні проблеми метрології; застосування фізичних методів у біології та медицині. Повні доповіді (статті) планується опублікувати у „Фізичному збірнику НТШ” (за

рекомендацією програмного комітету симпозіуму). Робочі мови: українська, англійська, німецька, російська.

Реєстраційний внесок становить 20 умовних одиниць (доларів США) для учасників з України і 150 умовних одиниць – для учасників з інших країн. Порядок оплати реєстраційного внеску, умови оплати і бронювання місць у готелі будуть вказані у додатковому повідомленні (для тих, хто подасть заявку на участь і тези). Заявки на участь у роботі симпозіуму і тези доповідей (до двох сторінок) надсилати до 01.02.2000 р. за адресою:

Оргкомітет II-Смакулового симпозіуму,
вул. Руська, 56, 46001 м.Тернопіль,

E-mail: infocenter@tu.edu.te.ua
факс: 0352-254983



Концепції дискретного та неперервного, що вперше сформулювали давньогрецькі філософи та використав Арістотель у створенні його "Фізики", зазнали істотно розвитку спочатку в механіці Ньютона, потім – у концепції Фарадея та теорії електромагнетного поля Максвела, і нарешті – у побудові релятивістської механіки, квантової механіки та релятивістської теорії квантованих полів. Цей нарис присвячено висвітленню тієї ролі, яку відіграла теорія Максвела у становленні нового світогляду.

Той, хто зумовив зміну світогляду людства

120 років після Дж.К.Максвела

Олександр Бакай, докт. фіз.-мат. наук, професор
Віктор Бар'яхтар, академік НАН України

"В історії людства (якщо поглянути на неї, скажімо, через десять тисяч років) найбільш значною подією XIX століття, безумовно, буде відкриття Максвелом законів електродинаміки. На тлі цього важливого наукового відкриття громадянська війна в Америці в тім же тисячолітті буде мати вигляд дрібної провінційної події"

Річард Файнман

Цього року минає 120 років відтоді як пішов з життя славетний фізик Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879). Небагатьом дослідникам випадає честь бути "власником" стільком іменних результатів, скільки їх має Максвелл: "рівняння Максвела", "розподіл Максвела", "правило рівноваги фаз Максвела", "рідке тіло Максвела", "демон Максвела", "релаксація Максвела", "круг Максвела", "маятник Максвела", "спосіб побудови еліпсів Максвела", "трикутник Максвела"... Додамо, що Максвелл також одержав перші кольорові діапозитивні фотознімки, щоправда, відмінним від сучасного способом. Те, що ці терміни не виходять з постійного ужитку є свідченням того, що за ними зберігається конструктивна роль у науковій, виробничій та освітній царинах до нашого часу і, певно, буде зберігатися завжди. З іншого боку, використання цих термінів є висловленням глибокої шани та вдячності їх авторові.

Недиво, що значення наукової спадщини Максвела визнавали та обговорювали багато видатних фізиків, як його сучасники, так і вчені наступних генерацій (див. наприклад ґрунтовну добірку [1]). У цьому нарисі ми опишемо лише один, але мабуть найважливіший результат Максвела – теорію електромагнетних явищ, та й то зосередимось не на суто конструктивному



аспекті цієї теорії (зрештою на її основі будуються відповідні розділи фізики, що входять до підручників середніх спеціальних та вищих навчальних закладів практично усіх, окрім гуманітарних, профілів), а на тій ролі, яку відіграла і відіграє ця теорія у подальшому розвитку фізики та наукового світогляду людства.

Годі й казати, що Максвелл належить до плеяди геніїв, які, образно кажучи, розбудовуючи храм науки, закладали та зміцнювали його основи на довічне служіння. Щоб виразно окреслити місце та значення його теорії електромагнетизму в еволюції знань та уявлень про природу, розпочнімо з коротенького історичного екскурсу в домаксвелівську епоху.

Фізика давніх греків

Чи не найважливішим надбанням цивілізації давніх еллінів у царині розвитку наук було розроблення методів наукового підходу до природних явищ та формування світогляду на основі філософських (наукових) надбань. Відтоді науковий світогляд набуває неабиякого значення в житті і розвитку цивілізованих суспільств. Не диво, що після руйнації давньогрецької цивілізації людство мало чекати майже 2000 років, аж до епохи ренесансу, на відновлення помітного поступу в розвитку культури і науки. Давнім грекам і, зокрема, Арістотелеві ми завдячуємо формуванням фізики, як науки про природу, визначенням основних проблем, з якими має справу фізика, та формулюванням основних засад цієї науки. Назву "фізика" вперше ввів Арістотель (від слова "фізис", що означає – "природа"). Він же написав



першу ґрунтовну книгу “Фізика”, що дійшла в списках та передруках до наших часів [2]. Дві концепції – дискретного та неперервного – а також основні принципи та закони руху були найістотнішими у змісті “Фізики” Арістотеля, де було відображено та розвинуто найважливі надбання давньогрецьких філософів у науці про природу. Відтоді ці концепції, як це й годиться концепціям, зазнають неперервного розвитку. Що ж до принципів руху, то не всі вони витримали перевірку дослідами, але частина з них і зараз лежить в основі рівнянь будь-яких форм руху.

Концепції дискретного та неперервного

З дискретністю макроскопічних об’єктів люди мали справу завжди. Арифметика, як наука, виникла передусім, як засіб підрахунків дискретних чи дискретизованих (поділених на частини) об’єктів. Чи не найдивовижнішим результатом спостережень та логічного аналізу еллінів була атомістична гіпотеза, за якою будь-яка спостережувана матерія має дискретну, атомістичну будову на мікроскопічному рівні. Ззовні простим був логічний шлях до цієї гіпотези. Якщо якесь тіло, що складається з однорідної речовини, наприклад, води чи якогось металу поділити на дві частини, то ми одержимо два тіла, що мають ті ж самі властивості, бо складаються з тієї ж речовини. Продовжимо поділ кожної з частин далі (хоча б і подумки). Із суто логічних причин можна допустити, що має бути якась найменша частинка (атом) речовини, що зберігає та визначає всі її якості. Стверджувалось, що кількість різнорідних атомів у природі порівняно невелика, але деякі філософи мали різні думки про кількість різновидів та про якості атомів. Отже, за атомістичною гіпотезою, матерія дискретна на мікроскопічному рівні. Звернімо увагу на те, що неподільність таким чином визначених атомів, є вирішальною їх якістю. Згідно з нею, якби атом і вдалось поділити, то накопичення однотипних фрагментів атома уже не могло б привести до утворення вихідної речовини. Вітер, випаровування та конденсація рідин, горіння, ріст рослин – ось які докази наводились на користь слушності атомістичної гіпотези.

Отже, дискретність природи на мікроскопічному і макроскопічному рівнях була однією зі складових тодішнього світогляду. Водночас філософія і фізика, як її частина, не могли обійтись без концепції неперервного. Уявлення про неперервність формувались водночас із концепцією дискретного, не суперечачи одне одному. Неперервним, зокрема, вважався час і, вочевидь, простір, бо рух тіл Арістотель розглядав як неперервний. Важко встановити джерела концепції неперервного, яке ще не набула тоді виразно окресленого вигляду. Неперервність матерії пов’язувалась з уявленнями про хаос як про безструктурну праматерію,

з якої і виникло все, тобто Всесвіт. Сюди ж належать і уявлення про ефір, який є “матеріальною субстанцією, що незрівнянно тонша, ніж видимі тіла, та така, що існує в тих частинах простору, котрі здаються порожніми” (цитуюмо за Максвелом [1]). Але, зазначимо ще раз, концепція неперервного і, зокрема, – ефіру не набула виразності та завершеності на той час.

Закони руху в “Фізиці” Арістотеля

Уявлення про рух та його основні принципи, які сформулювали давньогрецькі філософи, були тим підґрунтям, на якому майже через 2000 років після Арістотеля проводив дослідження Галілей та побудував свою механіку Ньютон. У переліку основних ідей та принципів механіки Арістотеля зосередьмося на тих, які були особливо важливими у створенні механіки Ньютона та зберегли цю важливість досі.

Подільність і взаємодія систем. Системою тут називається будь-який об’єкт, що описується чи досліджується. У механіці Арістотеля було прийнято, що системи можуть складатись з частин, підсистем, які взаємодіють між собою. Рух, тобто зміни стану підсистеми, можуть відбуватись (і відбуваються) завдяки впливові іншої підсистеми.

Рух як змінювання з часом спостережуваних величин і як форма існування. Поняття руху поширене на змінювання з часом будь-яких спостережуваних величин, що характеризують систему. Вважалось, що немає існування будь-якої системи поза рухом. Отже, кожна спостережувана величина змінюється з часом, або може бути зміненою. Введено також поняття і визначення неперервної змінної величини як такої, будь-який відтинок котрої може бути поділений до нескінченності. Зокрема час та положення тіла, що рухається, розглядав Арістотель як неперервні змінні. Це видно з його аналізу відомих апорій Зенона.

Принцип причинності. Згідно з цим принципом всі події, що відбуваються в поточний момент, пов’язані причинними зв’язками з подіями, які відбулися в попередній момент. Проте не всі події минулого пов’язані причинним зв’язком з усіма подіями, що відбулися пізніше, тобто “після оцього” ще не означає “внаслідок оцього”. Отже, серед низки подій, які відбулися в попередні моменти часу, і тими, що відбуваються в поточний момент, можна виокремити такі послідовності подій, котрі мають причинний зв’язок. Стосовно механічного руху це означає, що стан системи у поточний момент залежить від її стану в попередній момент, але не навпаки.

Принцип детермінізму. Згідно з цим принципом стан системи в наступний момент однозначно визначається станом системи у поточний момент. Цей принцип сформулював Демокрит, розглядаючи рух атомів.

Сила. Сила є причина змінювання стану системи



чи підсистем. Швидкість змінювання вимірюваної величини пропорційна силі, що спричиняє це змінювання. Саме останнє твердження Арістотель вжив як один із законів механічного руху. У цьому випадку вимірюваною величиною є положення (координата) тіла. Тіло перебуває в спокої, доки на нього не діє сила, а під дією постійної сили воно рухається з постійною швидкістю. Саме цей закон руху згодом заперечив перший принцип механіки Айзeka Ньютона (1643-1727).

Механіка Ньютона та механістичний світогляд

У механіці Ньютона не лише було сформульовано основні принципи, але й побудовано конструктивну основу цієї науки – диференційне та інтегральне числення. Рівняння, що описують зміну стану систем у часі, виявились диференційними рівняннями, форма яких однозначно визначається принципами детермінізму і причинності та припущенням про неперервність руху. Що ж до змісту рівнянь руху Ньютона, то вони принципово відрізнялись від Арістотелевого рівняння тим, що за відсутності сил тіло перебуває в стані рівномірного прямолінійного руху, тобто рухається з постійною швидкістю. У стані спокою ця швидкість дорівнює нулеві. Але завдяки принципів відносності Галілея стан спокою є лише відносною характеристикою системи, бо завжди можна обрати таку інерційну систему відрахунку, в якій тіло буде рухатись з будь-якою постійною швидкістю.

Що ж до сили, то вона є причиною зміни швидкості (точніше, імпульсу, який дорівнює добутковій швидкості на масу) системи. Отже, стан найпростішої механічної системи – матеріальної точки – описується не однією динамічною змінною (координатою), а двома – координатою та імпульсом.

У тому разі, коли система складається з підсистем, що взаємодіють, а отже, змінюють стан одна одної, сили взаємної дії двох тіл (двох підсистем) однакові за величиною та протилежні за напрямком.

Маючи рівняння руху в загальній формі та знаючи природу сил, що діють між підсистемами, можна описати еволюцію будь-якої системи в рамках механіки Ньютона. Вражаючим прикладом успішного застосування механіки Ньютона було одержання та розв'язання рівнянь небесної механіки, що описують рух планет сонячної системи. Для цього “лише” довелося використати закон Всесвітнього тяжіння, щоб описати взаємодію планет з Сонцем та між собою. Як результат, рух планет стало можливим передбачати з надзвичайно високою точністю. Закони руху планет, які емпірично встановив Кеплер, виявились простим наслідком, що випливає із рівнянь руху планет.

Завдяки надзвичайному успіху механіки Ньютона, разом з її появою сформувався і механістичний світо-

гляд, за яким будь-яка система, будь-яке явище може (принаймні в принципі) бути описаний рівняннями механіки Ньютона. Засновником цієї механістичної філософії був Ньютон і наступні два сторіччя вона залишалась панівною серед фізиків. Розвиток механіки Ньютона йшов шляхом вдосконалення формалізму (Гамільтонова динаміка, формалізм Лагранжа та принципи найменшої дії) та поширенням її на опис динаміки просторових тіл та суцільних середовищ (рідина, газ, тверді тіла).

Уже з формулювань принципів механіки Ньютона видно, що вона спрямована передусім на опис дискретних систем, зокрема матеріальних точок і тіл, що з них (матеріальних точок) можуть бути складені. Атомістична гіпотеза стосовно будови матерії на мікроскопічному рівні, з одного боку, та планетарна будова сонячної системи, з іншого боку, якнайкраще узгоджувались з механістичним світоглядом.

Неперервність була атрибутом механіки Ньютона, виступаючи лише як неперервність простору і часу. Принцип відносності Галілея та інваріантність рівнянь руху відносно початку відрахунку часу чи координат вичерпували властивості простору і часу.

Щодо ефіру, як неперервного матеріального середовища, в якому й існує видимий матеріальний світ, то Ньютон не знайшов йому належного місця в своєму світогляді і навіть намагався уникнути його й там, де він був конче потрібним, а саме при інтерпретації оптичних явищ. Закон Всесвітнього тяжіння сформульовано так, наче між тілами існує миттєва далекодія у вигляді гравітаційних сил. Ніякого середовища для передачі такого виду взаємодії не потрібно. Простір виступає тут як порожнеча, що вміщує матерію. Щоправда, як пише Максвелл [1] “... сам Ньютон намагався пояснити тяжіння різницями тиску в ефірі, але не опублікував своєї теорії оскільки йому не вдалося “на основі дослідів та спостережень дати задовільні пояснення стосовно цього середовища і стосовно того, як воно діє, породжуючи головні явища природи”.

Щодо оптичних досліджень Ньютона та їх інтерпретації, то вони викладені в його “Оптиці”, яка вийшла 1704 р. Незважаючи на те, що Ньютон вивчав інтерференційні та дифракційні явища (згадаймо дифракційні кільця Ньютона), які, здавалось би, природно тлумачити з позицій хвильової теорії, він намагався пояснити ці явища з використанням корпускулярної теорії світла, котру він побудував 1675 р. За цією теорією світло складається з корпускул, котрі, потрапляючи в матеріальне середовище чи на його поверхню, збуджують в ньому хвилі, а вже цей хвильовий рух і спричиняє інтерференційні та дифракційні явища при відбитті від пластин, проходженні через малі отвори, тощо.



Те, що Ньютон після створення корпускулярної теорії світла довго чекав щоб надрукувати свою "Оптику", можна розглядати як свідчення його сумнівів щодо задовільності пояснень оптичних явищ на основі цієї теорії. Численні його сучасники, котрі надавали перевагу хвильовій теорії світла, виступали опонентами корпускулярної теорії. Амбітний Ньютон, як з'ясувалось боляче реагував на заперечення.

Італійський учений Франческо Грімальді (1618-1663) мабуть першим спостерігав та інтерпретував спектральний розклад світла призми, явище дифракції світла та деякі інші явища. Він виклав результати своїх досліджень в книзі "Фізична наука про світло, колір та райдугу", що побачила світ 1665 р., вже після смерті автора.

Роберт Гук (1629-1695) слідом за Грімальді вивчав дифракцію світла (результати його досліджень опубліковані 1672 р). Дотримуючись хвильової теорії світла, він також вважав, що світлові хвилі є поперечними. Не диво, що він гостро критикував корпускулярну теорію Ньютона.

Водночас із Гуком фізикою світла займався і видатний голландський фізик Крістіан Гюйгенс (1629-1695). Він розглядав світло як хвилі, що поширюються в ефірі. У 1678 р. він запропонував хвильову теорію світла, а 1690 р. побачив світ його "Трактат про світло", де було також викладена його теорія світла та сформульовано відомий хвильовий принцип Гюйгенса. Саме з іменем Гюйгенса пов'язується відродження концепції ефіру як фізичного середовища [1].

Закінчимо цей коротенький екскурс в історію дослідження фізики світла на час остаточного формування механістичного світогляду зауваженням про те, що Ньютон таки видрукував свою "Оптику" якраз через рік після того, як помер Гук і майже за 20 років після завершення своїх досліджень природи світла. Як не прикро, але навіть смерть не примирила Ньютона з Гуком. Ньютон, намагаючись витерти ім'я Гука з історичної пам'яті, віддав розпорядження знищити не лише портрет, але й рукописи, та вилучити лабораторне обладнання небіжчика. Проте, це не завадило Гуківі та його науковій спадщині посісти належне місце в фізиці. Що ж до значення результатів Ньютона, викладених в "Оптиці", то про їх важливість свідчить зокрема про те, що 1931 р. цю книгу було перевидано з передмовою Альберта Айнштейна (1879-1955).

Ми зупинились на цій дещо драматичній сторінці з епохи ренесансу фізики, щоб показати, що саме з дослідженнями світла пов'язано і відродження концепції ефіру, яке сталося в XVII сторіччі. Це вже була не просто мало виразна концепція, яку кожен міг вживати і змінювати за своїми уподобаннями. Відтепер ефір, як середовище, в якому збуджуються і поширюються світлові хвилі, набуло конкретного фізичного

змісту і вивчення властивостей ефіру можна було досягти, вивчаючи світло. Зокрема, оскільки світло поширюється у різноманітних речовинах, то ефір має заповнювати весь простір, включно з тією його частиною, котра належить видимій матерії. З іншого боку, доти, доки не було бодай модельного математичного опису процесів збудження та поширення світла, ефір Гюйгенса залишався скоріше гіпотетичною ніж реальною субстанцією. Час конструктивних змін для концепції ефіру настав з відкриттями Майкла Фарадея (1791-1867) та Максвелла. А точніше, то ці відкриття започаткували польову концепцію матеріального світу. Ефір, вакуум чи простір і час (це майже тотожні поняття і їх вживання залежало, радше, від уподобань чи традицій в тому чи іншому розділі фізики, і той чи інший час) відтоді розглядаються як середовище, в якому збуджуються різноманітні поля, носії фізичних властивостей, котрі можна виміряти.

Відкриття Фарадея та теорія електромагнетизму Максвелла

XIX сторіччя, коли йдеться про фізику, можна назвати сторіччям фізики електромагнетних явищ та статистичної фізики. Фізика електричних та магнетних явищ почалася з вивчення взаємодій заряджених тіл та струмів. Згодом, коли з'ясувалось, що видима матерія складається з атомів (як і припускали елліни), а також що саме електромагнетні взаємодії між електронами та ядрами визначають будову атомів, стало зрозуміло, що електромагнетні взаємодії визначають будову та властивості видимої матерії. Елементарні оцінки показують, що сила електромагнетних взаємодій, наприклад в атомі водню, в $2 \cdot 10^{39}$ разів перевищує гравітаційну силу. Але попри це природу електромагнетних сил та їх роль у будові та визначенні властивостей матерії було досліджено набагато пізніше, ніж це сталося з незрівнянно слабкішими гравітаційними силами та тими явищами, де вони домінують. Трапилося це через якісну відмінність електромагнетних сил від гравітаційних. Вона полягає у тім, що гравітаційні сили – це сили притягання, що діють між будь-якими формами матерії, котрі мають масу чи енергію. Що ж до сил, які діють між електрично зарядженими тілами, то вони можуть бути силами як притягання, так і відштовхування, залежно від знаків зарядів. Електричні заряди бувають двох знаків – позитивні і негативні. При цьому різнойменні заряди притягуються, а одноіменні – відштовхуються. Через те, що наш Всесвіт і кожне макроскопічне тіло в стані рівноваги виявились електронейтральними і кількість від'ємного заряду (його носіями є електрони, антипротони та деякі нестабільні елементарні частинки) точнісінько дорівнює кількості позитивного



заряду (його стабільними носіями є позитрони та протони), то порівняно сильні і далекодіючі електромагнетні взаємодії дуже швидко приводять до утворення в середньому електронейтральних атомів. Взаємодії ж нейтральних атомів між собою з'являються лише на коротких відстанях з характерним масштабом біля 10^{-8} см, а отже якісно відрізняються від взаємодій заряджених частинок чи тіл між собою. Отож для вивчення електромагнетних сил та явищ спершу довелось розділювати заряди, відщеплюючи електрони від атомів, а вже потім експериментувати з зарядами, їх струмами та силовими полями, котрі породжені тими і іншими. Лише через це "основні діючі особи" великої драми еволюції Всесвіту, вийшли на сцену і стали доступними для спостереження значно пізніше, ніж слабкіші гравітаційні сили. Продовжуючи тему, нагадаємо, що іще набагато сильніші від електромагнетних так звані сильні взаємодії, які діють між важкими елементарними частинками, баріонами, і є відповідальними за будову та властивості атомних ядер, було відкрито лише в XX сторіччі. І то незважаючи на те, що сильно взаємодіючі частинки не мають різнойменних зарядів і всі вони притягуються між собою. Але природа цих сил така, що вони надто короткодіючі й стають помітними на дуже малих відстанях, близько 10^{-13} см. Саме такий характерний масштаб атомних ядер. Отож потрібно було розробити спеціальну експериментальну техніку для того, щоб вивчати структуру та властивості матерії на таких малих масштабах.

Досліджуючи електромагнетні взаємодії, тобто взаємодії між електричними зарядами і струмами, Фарадей був першим, хто стверджував, що носіями взаємодій є електричні та магнетні силові поля. Взаємодії передаються цими полями з певною швидкістю, а не є такими, що поширюються миттєво. Внаслідок відкриття явища електромагнетної індукції-збудження електричного поля змінними магнетними полями (1831) – Фарадей об'єднав електричне та магнетне поля в єдине електромагнетне поле. Незважаючи на детальний емпіричний опис властивостей електромагнетних взаємодій та електромагнетних полів, математичне формулювання відповідних законів та опис явищ, які він відкрив, чекало на Максвела.

Геній Максвела дозволив йому відразу відчутти глибокий фізичний зміст Фарадеевої концепції електромагнетного поля та динаміки зарядів і струмів саме тоді, коли сучасники, дуже і менше відомі фізики, сприймали фізичну картину, подану Фарадеем, як таку, що сама собою не має високої наукової цінності і хтозна чи може претендувати на роль теорії. Максвел спростував ці погляди, сформулювавши повну та самоузгоджену теорію електромагнетного поля та електромагнетних явищ. Ця теорія описує динаміку елект-

ромагнетного поля, як породжуваного зарядженими частинками, так і через відсутність зарядів та струмів. Істотною заслугою Максвела (і він це відзначав сам) було те, які він увів у свої рівняння так звані струми зміщення, що зобов'язані своїм існуванням змінюванню в часі напруженості електричного поля з урахуванням поляризації середовища. Заряджені частинки змінюють свої імпульси під дією електромагнетних сил згідно з другим принципом Механіки Ньютона.

Рівняння Максвела мають кілька важливих особливостей, як за своїм походженням, так і за змістом. Подаючи польове пояснення електромагнетних явищ, Фарадей виходив з експериментальних досліджень, які проводились з макроскопічними зарядженими тілами та провідниками зі струмом. Характерні просторові розміри досліджуваних об'єктів лежали десь в межах 1-100 см. Природно було чекати, що феноменологічна за походженням теорія Максвела могла б стати непридатною для розгляду електромагнетних явищ на дуже малих (наприклад, $\sim 10^{-13}$ см), чи дуже великих (наприклад, $\sim 10^8$ см) масштабах. Як згодом з'ясувалося теорія Максвела чудово "працює" на всіх досяжних масштабах, щоправда, з урахуванням квантової природи об'єктів там, де це слід. (Нижче ми зупинимось на квантовому аспекті електродинаміки дещо детальніше). Це була чи не найдивовижніша примха природи – зробити один із своїх найглибших секретів доступним для відкриття чи не найпростішими засобами.

Світлова постійна c

У співвідношення між електричними та магнетними величинами входить коефіцієнт, який за розмірністю є швидкістю і дорівнює приблизно $3 \cdot 10^{10}$ см/сек. Якщо розглянути рівняння Максвела для електромагнетного поля через відсутність зарядів і струмів, то виявляється, що це лінійні диференційні рівняння, розв'язки яких можна представити у вигляді суперпозиції плоских хвиль. Кожна така хвиля описується вектором поляризації, амплітудою, частотою та довжиною хвилі. Частота та довжина хвилі не є взаємно незалежними величинами. Залежність

$$v = v(\lambda) \quad (1)$$

називається законом дисперсії хвиль. Знаючи цей закон для того чи іншого хвильового руху в середовищі, можна знайти фазову v_{ph} , та групову v_g , швидкості хвилі:

$$v_{ph} = \lambda v, v_g = dv/d(1/\lambda) \quad (2)$$

Фазова швидкість характеризує швидкість поширення, а групова – швидкість переносу енергії та імпульсу хвилі.



Електромагнетні хвилі через відсутність зарядів і струмів мають універсальний закон дисперсії

$$v(\lambda) = c/\lambda, \quad (3)$$

з якого випливає, що швидкість поширення електромагнетного поля дорівнює c і не залежить від довжини хвилі:

$$v_{ph} = v_g = c \quad (4)$$

Максвел висунув гіпотезу про те, що світло має електромагнетну природу, тобто, що світло є електромагнетними хвилями. Сильним аргументом на користь цієї гіпотези було те, що швидкість поширення електромагнетних хвиль (постійний коефіцієнт) є дуже близькою до швидкості світла, котру вимірювали незалежно і задовго до появи теорії Максвела. Ось що писав Максвел стосовно цього в статті "Ефір" [1]: "Швидкість поширення електромагнетного збурення у повітрі, будучи обчисленою на основі різноманітних даних, не більш відрізняється від швидкості світла в повітрі, як це визначається різними спостереженнями, ніж значення цих величин відрізняється одне від іншого".

Згадаймо, що довжини світлових хвиль становлять десь $\sim 10^{-4}$ см. Саме величезна різниця просторових масштабів електромагнетних полів та довжин світлових хвиль може виступати мірилом сміливості думки Максвела, що привела його до цієї гіпотези. Як відомо, ця гіпотеза негайно підтвердилась, але чи не найбільш вражаючим було її підтвердження, яке невдовзі одержав Людвіг Больцман (1844-1906) на основі рівнянь для термодинамічних величин. Больцман розглядав термодинамічні властивості випромінювання абсолютно чорного тіла за припущення, що світлові хвилі (хвилі випромінювання) переносять енергію, яка пропорційна їх імпульсові, зі швидкістю (див. співвідношення (3), (4)). Цього виявилось досить, щоб знайти, що густина енергії випромінювання абсолютно чорного тіла \mathcal{E}_{irr} , пропорційною T^4 (T - температура тіла). Але ж саме така температурна залежність \mathcal{E}_{irr} і становить зміст емпіричного закону Йозефа Стефана (1835–1893). Відтоді (1885) закон

$$\mathcal{E}_{irr} = \sigma T^4 \quad (5)$$

відомий як закон Стефана-Больцмана. Ці ж імена присвоєно і константі.

З цього прикладу видно, яку силу мають правильні закони природи. А теорія Максвела втілює такі закони.

Ефір Максвела

У "Ефір" [1], Максвел зазначає, що носієм електромагнетних полів є середовище, яке, віддаючи данину попередникам, можна назвати ефіром. Оскільки Максвел був переконаний, що світло має електромагнетну природу, то згаданий вище ефір Гюйгенса за своїми властивостями мав збігатися з ефіром Максвела. До Максвела ефір був необхідним атрибутом хвильової теорії світла. Точнісінько так, як пружні середовища (до них, зокрема належать гази, рідини, тверді тіла) є носіями звукових хвиль, світло має бути пов'язаним зі своїм середовищем. А оскільки світло може поширюватися у різноманітних пружних середовищах, то ефір має проникати скрізь. З появою рівнянь Максвела стало зрозуміло, носієм яких полів і коливань має бути ефір. Не заходячи аж так далеко, щоб обговорювати, носієм яких, окрім електромагнетних, полів є ефір, Максвел доклав неабияких зусиль, щоб побудувати механістичну модель ефіру, але ці спроби не дали бажаного результату. І все-таки йому вдалось дійти до важливих позитивних висновків, котрі, щоправда, в наші дні не справляють великого враження, хоч і дають змогу прослідкувати, які ідеї тоді використовувались для розвитку концепції ефіру, та яка була роль Максвела при цьому.

Механістичну концепцію Всесвіту Ньютона та атомістичну гіпотезу будови матерії ні Максвел, ні його сучасники не брали під сумнів. Саме механістичні погляди і були тією рушійною силою, яка спонукала Максвела до моделювання ефіру. Максвел передусім відкинув ідею атомістичної будови ефіру, слушно зазначивши, що якби ефір складала атоми, то вони б давали внесок у теплоємність. Зокрема теплоємність газів не могла б зменшуватись пропорційно до густини при зменшенні тиску, бо зумовлена ефіром частка теплоємності була б при цьому незмінною. А це суперечить з результатами дослідів, а отже, не може бути прийнятним. Далі Максвел зауважує, що неперервне на мікроскопічному рівні середовище може мати пружні властивості і не маючи атомістичної будови. Справляє враження те, який шлях обрав Максвел, щоб після того, як йому не вдалось побудувати механістичну модель ефіру, все-таки не вступати в конфлікт з механістичною концепцією. Річ у тім, що незалежно від будови та мікроскопічних властивостей середовища його динаміка, тобто його рівняння руху, можна представити в загальному вигляді, скориставшись, наприклад, Лагранжевою формою механіки. У рамках механіки Лагранжа будується так званий Лагранжіан – деяка функція від динамічних змінних (для суцільних середовищ такими змінними є поля, тобто величини, що неперервно змінюються в просторі



і часі). За своїм змістом Лагранжіан є різницею між густинами кінетичної та потенціальної енергій, T і U .

Якщо є Лагранжіан рівняння руху для середовища можна негайно одержати за допомогою деякої стандартної процедури.

Максвел побудував Лагранжіан для електромагнетного поля (!) і тим самим показав, що його рівняння можна одержати в рамках формалізму, що його побудовано в механіці Ньютона. Максвел також показав, що його рівняння можна подати в класичній, “канонічній” формі, а отже, що його ефір не суперечить з механікою Ньютона.

Великий математик, механік і мислитель Анрі Пуанкаре (1854-1912) повною мірою оцінив цей результат Максвела [4]: “... неважко зрозуміти основну ідею Максвела. Щоб довести можливість механічного пояснення електрики, нам не треба обтяжуватись пошуками цього пояснення, досить знати вирази для двох функцій T і U , які обидві є складовими частинами енергії, одержати за їх допомогою рівняння Лагранжа і потім порівнювати ці рівняння з експериментальними законами”.

Одне із правил, яких дотримувався Максвел у побудові (нової) теорії – заперечення і відкидання якомога менше тих гіпотез та принципів, котрі були введені і використовувались раніше. Якомога менш обмежень мала вносити нова теорія!

Як бачимо, йому це вдалось у побудові теорії електромагнетного поля. Але згодом з'ясувалось, що ця теорія таки накладає істотні обмеження на механіку Ньютона (див. далі).

Щоб окреслити кардинальний внесок Максвела у розвиток концепції ефіру (згодом – простору і часу), зазначимо, що йому вперше вдалось дати конструктивний опис властивостей ефіру, як середовища, в якому існує і поширюється (згідно з рівняннями Максвела) електромагнетне поле. Якщо ці рівняння й не вичерпували всіх властивостей ефіру, то принаймні відтоді деякі з цих властивостей стали незаперечною реальністю.

Після Максвела

Початок ХХ сторіччя був часом революційних змін у фізиці. Саме на цей час припадає побудова теорії відносності, формулювання квантової гіпотези та побудова квантової механіки, формування нового світогляду, закладання основ нової фізики. Схожим на чудо є те, що теорія Максвела не лише започаткувала цю революцію, але й збереглася після неї майже незмінною і, напевно, залишиться такою на довгий час, якщо не назавжди. Щодо поширення теорії Максвела серед фізиків, то відбувалось воно не так уже й швидко. За свого життя, а воно було зовсім не довгим, Максвел не діждався ані широкого визнання, ані, тим паче,

тріумфу своєї теорії. Лише після згаданої вище праці Больцмана та досліджень Генріха Герца (1857-1894), якому вдалось збудити електромагнетні хвилі та дослідити їх поширення у просторі, настала тріумфальна пора теорії Максвела. Електротехніка, радіотехніка, телефонний зв'язок тощо одержали надійний фундамент для бурхливого розвитку. Герц і Олівер Хевісайд (1850-1925) записали рівняння Максвела у зручній формі, якою ми користуємось і зараз. Але не менше важливі наслідки мала теорія Максвела у фундаментальній фізиці. Нагадаймо коротко і про них.

Теорія Максвела і принцип відносності

Генріх Лоренц (1853-1928), вивчаючи рівняння Максвела, помітив, що вони не є інваріантними стосовно уже згаданих вище перетворень Галілея

$$\vec{x}' = \vec{x} - \vec{u}t, \quad \vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} \quad (6)$$

Тут \vec{x}' , \vec{v}' і \vec{x} , \vec{v} координати і швидкості у системах відрахунку, одна з яких рухається відносно іншої зі швидкістю ... Натомість ці рівняння лишаються інваріантними стосовно перетворень, яким присвоєно ім'я Лоренца:

$$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \\ t' = \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \quad (7)$$

Тут ми брали, як звичайно, систему координат так, щоб відносний рух двох систем зі швидкістю u відбувався вздовж вісі x . Звернімо увагу на те, що перетворення Лоренца торкаються і часу, який у механіці Ньютона був “абсолютним”, тобто єдиним для всіх інерційних систем. Отже, згідно з (7), одночасовість явищ у різних інерційних системах відрахунку не має сенсу.

1892 року Альберт Майкельсон (1852-1931) і Едвард Морлі (1838-1923), досліджуючи властивості Максвелівського ефіру, порівняли величини швидкості поширення світла у різних інерційних системах. Приголомшуючим був результат цих досліджень: швидкість світла в усіх інерційних системах однакова і дорівнює c !

Пуанкаре 1904-1905 рр. сформулював принцип відносності, згідно з яким всі закони руху мають бути однаковими в усіх інерційних системах і, зокрема, бути інваріантними відносно перетворень Лоренца (або, як часто кажуть, бути Лоренц-інваріантними).

Альберт Айнштайн (1879-1955) надрукував свою знамениту працю “Про електродинаміку рухомих тіл”



(1905), сформулював засади теорії відносності і одержав у славлену формулу

$$E = mc^2 \quad (8)$$

що встановлює еквівалентність енергії і маси.

Ми тут обмежуємось лише лаконічними згадками про внесок найвидатніших серед творців теорії відносності та релятивістської механіки. З утвердженням теорії Максвелла та після експериментів Майкельсона-Морлі виникла жагуча необхідність її повного самоузгодження та узгодження з іншими розділами фізики. Ідеї релятивізму “гасали в повітрі”, розв’язок проблеми найбільшою мірою належить Лоренцові, Пуанкаре та Айнштайнові. Згадана робота Айнштайна містила виклад повного розв’язку цієї проблеми. Про захопливу історію побудови теорії відносності написано величезні стоси книг. Ми можемо рекомендувати читачеві, зокрема, публікації [4-6], де повною мірою відображено не лише результати пошуків, але й неповторний дух, що панував серед фізиків того часу.

З побудовою теорії відносності слово “ефір” майже зникає з уживаного фізиками лексикону. Місце ефіру відтепер займає простір-і-час, що має фундаментальну властивість – зазнавати перетворень Лоренца у переході від однієї інерційної системи до іншої. Оскільки закони релятивізму поширюються на всі форми руху, то той, хто хотів би зберегти ефір Максвелла, як носій електромагнетного поля, мусив би додати, що цей ефір є також носієм усіх інших форм руху матерії.

Квантова гіпотеза Планка і хвильова механіка

Для щонайкращого узгодження з результатами вимірювання спектральної густини випромінювання абсолютно чорного тіла залежно від температури Макс Планк (1858-1947) запропонував евристичну формулу, яка давала чудовий результат, але фактично була ґрунтована на надзвичайно дивній гіпотезі: енергія світлової хвилі квантована, причому енергія кванта пропорційна частоті хвилі,

$$\varepsilon = h \nu, \quad (9)$$

де коефіцієнт пропорційності h , є стала Планка, яку відразу ж було обчислено за експериментальними даними, щоправда згодом ця величина вимірювалась все точніше і точніше.

Квантова гіпотеза дала змогу не лише уникнути низки суперечностей, що виникали при інтерпретації результатів спектральних вимірювань, але й дозволила пояснити такі несподівані світлові явища як, наприклад, фотоэффект, теорію якого побудував Айнштайн. З одного боку, квантова гіпотеза наче доповнювала теорію Максвелла, ніяк її не заперечуючи. З іншого боку, вона вимагала синтезу неперервності і дискретності для одного і того ж виду матерії, для одної і тої

ж форми руху. Це, зокрема, означало, що диференціальні рівняння руху, побудовані за принципами детермінізму і причинності та принципами релятивістської механіки, не дають адекватного опису фізичних явищ. Сьогодні ми знаємо, що розв’язання цієї проблеми поклато початок корпускулярно-хвильовій концепції матерії. Якщо зауважити, що інтенсивність монохроматичного світла, згідно з теорією Максвелла, є пропорційною квадратові амплітуди, а за квантовою гіпотезою, – кількості квантів світла (їх прийнято називати фотонами), то приписуючи фотонам такі властивості дискретних корпускул, як енергія і імпульс, ми відразу ж бачимо, що квадрат амплітуди світлової хвилі пропорційний кількості фотонів. Щоб показати, що так сформульована квантова гіпотеза приводить до принципової суперечності, досить розглянути наприклад випадок, коли фотонів обмаль. Нехай на приймачі лічильника з’являється не більш одного фотона за хвилину. Тоді польова картина, що описується рівняннями Максвелла, здавалось би втрачає сенс, бо хоч якою б малою не була амплітуда хвилі, вона не змінюється з часом і лічильник мав би якось реагувати весь час. Однак, застосовуючи систему щілин і екранів, можемо створити складну інтерференційну чи дифракційну картину розподілу інтенсивності світла, що складається з небагатьох (наприклад, одного чи двох) фотонів. Отже, фотон має інтерферувати сам зі собою, якщо ми не відкидаємо теорію Максвелла, а електромагнетне поле одного фотона треба якось інтерпретувати. Як відомо, розв’язок цієї проблеми виявився дещо парадоксальним і полягає він у тім, що фотони поводяться зовсім не так, як матеріальні точки Ньютона. Вони не мають класичних траєкторій, тобто, до них не можна застосувати згаданий вище принцип детермінізму. Квадрат амплітуди електромагнетної хвилі описує лише імовірність перебування фотона в тій чи іншій точці. Отже, електромагнетне поле, що допускає класичний детерміністичний опис на засадах релятивістської механіки, породжує поле імовірності для фотонів, які не мають детермінованих траєкторій. Міра індетермінізму динаміки фотонів описується відомим співвідношенням невизначеності Вернера Гейзенберга (1901-1976).

$$\Delta x \cdot \Delta p \sim h \quad (10)$$

Тут Δx та Δp описують невизначеності координати та імпульсу фотона.

Як бачимо, поєднання таких несумісних властивостей, як неперервність та дискретність досягнуто відмовою від принципу детермінізму стосовно руху корпускул.

Ньютон, звичайно, мав на увазі зовсім інші корпускули, вводючи їх для інтерпретації результатів оптичних експериментів.



Здавалось би, що прийняття дуального квантово-польового опису електромагнетного поля мало бути негайно поширене і на закони руху інших форм матерії, зокрема електронів чи атомів. Релятивізм (Лоренц-інваріантність) виявився властивістю не лише електромагнетного поля, але і будь-яких форм руху, згідно з принципом відносності. Отже, якщо припустити, що природа електромагнетних збурень ефіру не притаманна, як і релятивізм, лише цій формі матерії, то й інші форми руху теж можуть мати квантово-польову природу. Зрештою саме квантово-польова концепція і стала домінуючою, але шлях її поширення на такі об'єкти, як електрони чи атоми – типові об'єкти Ньютонової механіки як матеріальних точок – був досить довгим. У 1923 р. Луї де Бройль (1892-1987) висунув гіпотезу про існування хвиль матерії. За свідченням де Бройля основна його ідея "... полягала у поширенні на всі частинки речовини дуального аспекту "хвиля-частинка", відкритого Айнштайном для випадку світла ...". Так було започатковано хвильову механіку. Принцип невизначеності Гейзенберга (10), що є майже очевидним для електромагнетного поля, виявився наріжним каменем хвильової механіки. Не будемо, навіть коротко, переповідати захопливий зміст "золотої" сторінки в історії фізики – побудови релятивістської теорії квантованих полів. Можемо порекомендувати, наприклад, книги [5,6], де чудово висвітлено цей предмет. Тут ми обмежимося лише кількома зауваженнями, що, на нашу думку, найглибше розкривають теорію Максвелла в розвитку сучасної фізики.

З побудовою релятивістської теорії квантованих полів (ця теорія поки що далека від завершення) бачимо, що чи не єдина істотна відмінність таких "матеріальних" частинок, як скажімо електрон чи протон, від суто "польової" матерії у формі гравітаційного, електромагнетного та нейтринного полів, полягає в тому, що вони мають масу спокою. Завдяки цьому "матеріальна" частинка на відміну від безмасової має таку інерційну систему, в якій її швидкість руху, а отже імпульс, дорівнює нулеві, тоді як енергія описується формулою Айнштайна (8). Безмасові ж частинки в будь-якій системі відрахунку мають швидкість c .

Щодо формалізму Лагранжа (чи формалізму Гамільтона), що як уже згадувалось, поширюється і на електромагнетне поле, то він зберігається незмінним і в релятивістській теорії.

Айнштайн, проголосивши в 20 та 30-х роках, що настав час Максвелівської програми "опису фізичної реальності за допомогою полів" [7], довгий час намагався сформулювати єдину теорію поля, яка б об'єднавала опис гравітаційних та електромагнетних полів і їх "зарядів". Цього не вдалось досягти, але навіть якби і вдалось, то це б не могло стати єдиною польовою теорією фізичної реальності, бо з часом виявилось, що кількість полів – масових і безмасових частинок з різними спінами, що беруть участь в гравітаційних, електромагнетних, сильних (ядерних) та слабких

взаємодіях, – є досить великим. Ефір Максвелла виявився носієм дуже великої кількості полів, які поки що не вдалось звести до небагатьох, "елементарних", полів та взаємодій між ними.

З побудовою релятивістської теорії квантованих полів стан ефіру треба вже характеризувати не лише наявністю в ньому того, чи іншого хвильового поля, але й числом квантів цього поля. Лоренц-інваріантний стан ефіру за відсутності квантів будь-якого поля отримав назву "вакуум". Так само, як і ефір в теорії класичних полів, вакуум відіграє цілком конструктивну роль в теорії квантованих полів. Процеси народження, анігіляції, взаємодії і перетворень елементарних частинок розглядаються як явища зміни стану вакууму на цілком новій конструктивній основі. Природно, що динаміка квантів різюче відрізняється від класичної динаміки матеріальних точок чи динаміки класичних полів. Отже, як і ефір, вакуум – це не просто порожнеча, а середовище, котрому притаманні чітко визначені фізичні властивості, це вже носій корпускулярно-хвильових форм руху.

Квантова електродинаміка, що цілком базується на рівняннях, Максвелла для електромагнетного поля та релятивістських рівняннях Поля Дірака (1902 - 1984) для електронів і позитронів, складає найрозвинутіший розділ теорії квантованих полів. У квантовій електродинаміці досягнуто кількісного опису явищ, які породжені взаємодіями згаданих полів, з вражаючою точністю на просторових масштабах, що покривають десятки порядків.

Часто наукові дослідження, спрямовані на розв'язання якоїсь грандіозної проблеми, влучно порівнюють з обмацуванням сліпцями величезного слона. Як наслідок такого процесу з'являється велика кількість теорій, нерідко суперечливих, жодна з котрих не охоплює усього "слона". Чи не є справжнім чудом те, що феноменологічна теорія відкритих Фарадеєм за допомогою надпростого устаткування порівняно невеликої кількості (але фундаментальних) електромагнетних явищ охоплює, як виявилось, в найістотніших контурах "слона" сучасної релятивістської теорії квантованих полів.

Отже, Максвелові належить честь відкриття законів, що відіграли ключову роль в розвитку фізики та зумовили формування нового світогляду.

1. Джеймс Клерк Максвел. Статті и речи. М., 1968.
2. Аристотель. Сочинения: В 4-х т. М., 1981. Т. 3.
3. Х.-Г. Шёпф. От Кирхгофа до Планка. М., 1981.
4. А. Пуанкаре. О Науке. М., 1983.
5. А.И.Ахмезер, Ю.П.Степановский. От квантов света до цветных кварков. Киев, 1993.
6. Р. Фейнман, КЭД – странная теория света и вещества. // Библиотечка "Квант". М., 1988. Вып. 66.
7. А. Эйнштейн. "Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности" (в Сб. [1]. С. 243).



МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ БОГОЛЮБОВ

Дмитро Таращенко,
Галина Шопя



У серпні 1999 року виповнилося 90 років від дня народження одного з найяскравіших геніїв теоретичної фізики і математики ХХ століття, академіка Миколи Миколайовича Боголюбова.

Микола Боголюбов народився в російському місті Нижній Новгород 21 серпня 1909 року в сім'ї викладача філософії і психології духовної семінарії. Мати, Ольга Миколаївна, закінчила Нижньогородське відділення Московської консерваторії і працювала учителем музики. Того ж року сім'я переїхала у м. Ніжин, де батько отримав місце професора богослов'я.

У Миколи було ще два брати – Олексій і Михайло. Вихованню дітей батьки приділяли велику увагу. Ще з 4-5 років батько навчав синів читати, а з 5-ти років почав учити їх німецької мови, згодом – французької та англійської.

1913 року батька, Миколу Михайловича Боголюбова, обрали професором університету св. Володимира, і сім'я переїхала до Києва. До вступу у Першу Олександрівську Київську гімназію Миколу та його брата Олексія підготував батько. Однак навчались вони там недовго. У гімназії Микола вчився непогано, але з арифметики отримував, у кращому випадку, четвірку. Учитель говорив йому: „З тебе, Миколо, математика не вийде.”

1918 року кафедра богослов'я у Київському університеті була закрита, і 1919 року Боголюбови переїхали в село Велика Круча на Полтавщині, де батько отримав місце священика. Разом із сільським учителем математики Микола поперев'язував усі задачі з арифметики з відомого задачника Малініна і Буреніна, оволодів алгеброю. У школі Микола навчався у шостому та

сьомому класах. Атестат про закінчення семирічки став єдиним документом про освіту, який він отримав за все життя. Наприкінці 1921 року сім'я повернулася до Києва.

Виявивши у сина здібності і зацікавленість до фізико-математичних наук, батько брав для сина книги з математики та фізики в університетській бібліотеці. Одного разу він приніс йому п'яти томник О.Хвольсона з фізики, який Микола швидко опрацював. До середини 1922 року його знання з математики і фізики відповідали повному університетському курсу. Згодом батько відвів Миколу до академіка Д.Граве, який запропонував йому прослухати частину своїх лекцій. Микола разом із студентами, вдвічі старшими за нього, почав відвідувати лекції. Учений пильно придивлявся до молодого хлопця, і його висновок мав вирішальне значення в долі Миколи. Хто б міг тоді подумати, що міне якихось шість років – і двадцятирічному Боголюбову за пропозицією того ж академіка Граве на пленарному засіданні Академії наук буде присвоєно ступінь доктора математики без захисту дисертації!

Пізніше наукові інтереси Микола звели його з академіком Миколою Митрофановичем Криловим. Він попросив дозволу брати участь у роботі



семінару. Юнак сказав академікові, що йому подобається і арифметика, і алгебра, і тригонометрія, особливо, якщо завдання складне. Крилов дав йому декілька завдань і сказав зайти через три дні. Коли хлопець показав академікові свій зошит, той детально вникнувши у хід розв'язку, пильно подивився на Миколу і сказав: „Однині, щоб ходив на семінар. Будеш вчитися.” Йому було тоді тринадцять років. У семінарі Крилова було вчитися цікаво й важко. Учений створював для своїх учнів такі ситуації, де можна було б виявити їхню старанність, працьовитість, любов до науки. Особливо діставалося тим, на кого він покладав найбільші надії. „Ось тобі, Боголюбов, три книжки: дві французькою, одна німецькою мовами. Термін – двадцять днів.” Хлопець з жахом дивився на три математичні томи. „Якщо людина не вміє читати й писати кількома європейськими мовами, то справжнім математиком вона ніколи не стане.” І Микола сідав за книжки, доповідав і знову готувався. Іноді Крилов змушував робити доповідь іноземною мовою. Так поступово, непомітно для самих себе, учні ступали з однієї вершини на іншу.

Крилов одразу помітив обдарованість, працьовитість і наполегливість Боголюбова. Академіка дивувала виняткова сприйнятливості Миколи, його тонка математична інтуїція. Учений знав, що Микола навіть не має загальної середньої освіти, але він також був переконаний, що не можна втрачати час розквіту рідкісного таланту.

Через кілька місяців занять Крилов запропонував Боголюбову писати самостійну наукову роботу. Хлопець радів, що вчитель у нього вірить, але було страшно, адже виникало багато питань – Як же бути зі школою? Хіба можливі серйозні заняття наукою без освіти? Без диплома?

Президія Академії наук просила уряд республіки дозволити прийом п'ятнадцятирічного Миколи Боголюбова безпосередньо в аспірантуру. Як виняток. У цього юнака вже були наукові праці, які давно вийшли за межі університетських програм.

У сімнадцять років М.Боголюбов був удостоєний премії Болонської академії. У дев'ятнадцять – захистив кандидатську дисертацію на тему: „Застосування прямих методів варіаційного обчислення до дослідження нерегулярних випад-

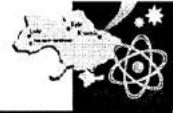
ків найпростішого завдання”. 1930 року Загальні збори фізико-математичного відділення Академії наук України надали Миколі Боголюбову учений ступінь доктора математики. Крім основної роботи на кафедрі математичної фізики, М.М.Боголюбов почав викладати у Київському університеті й 1936 року йому було присуджено звання професора. Двадцятисемирічний професор, М.М.Боголюбов прочитав низку доповідей у Парижі та Брюсселі. Його обрали членом Французького математичного товариства.

Восени 1940 року за скеруванням Академії наук Боголюбов поїхав у Чернівці. Лекції наймолодшого в Україні професора в Чернівецькому університеті невдовзі стали настільки популярними, що усіх, хто бажав їх послухати, не вміщали найбільші аудиторії. Відвідували їх не тільки математики й фізики, професори й викладачі, а й філологи, біологи ...

Під час війни інститути Академії наук України евакуювали в Башкирію, де вони продовжували працювати над науковими проблемами. 1944 року вчений повернувся до Києва, де працював в інституті математики та університеті професором і деканом механіко-математичного факультету. У спілкуванні зі студентами Микола Боголюбов був уважний і доступний.

1948 року Миколу Миколайовича Боголюбова запросили на роботу до Москви. Переїхавши до Росії і обіймаючи високі керівні посади, М.Боголюбов ніколи не послаблював наукових зв'язків з Україною, надавав своїм учням усебічну наукову й організаційну підтримку. 1966 року за ініціативою академіка М.М.Боголюбова у Києві було створено Інститут теоретичної фізики, який він очолював протягом шести років і багато зробив для його становлення.

Наукова діяльність М.М.Боголюбова тісно пов'язана з Національною академією наук України, де він працював з 1928 року. Тут він сформувався як учений і виконав низку ґрунтовних праць, які принесли йому світову славу. В Академії він пройшов шлях від аспіранта до академіка, засновника і першого директора Інституту теоретичної фізики, який названо його іменем. М.М.Боголюбов започаткував наукові школи з математики, теоретичної фізики і нелінійної механіки, що нині знані в усьому світі.



Внесок академіка М.М.Боголюбова у скарбницю світової науки неоціненна. Він розробив основи нових напрямів сучасної фізики і математики, які отримали розвиток в усьому світі. Зокрема це асимптотичні методи нелінійної механіки, кінетична теорія багаточастинкових систем, метод перенормувань у квантовій теорії поля, теорія надплинності і надпровідності. Ці та інші ґрунтовні теорії і методи, які розвинув академік, ставлять його ім'я у ряд найвидатніших творців фізики і математики ХХ століття.

М.М.Боголюбов був засновником і керівником наукових шкіл теоретичної фізики в Росії та Україні, членом Американської академії наук і мистецтв у Бостоні, Болгарської академії наук, Польської академії наук, Академії наук НДР, Гейдельберзької академії наук (ФРН), Національної академії наук США та багатьох наукових товариств, дійсний член Наукового товариства ім. Шевченка.

Завдяки надзвичайно широкій і натхненній педагогічній діяльності академіка М.М.Боголюбова виховано цілу плеяду учнів – знаменитих фізиків і математиків, які успішно продовжують справу свого учителя. Багато з них створили свої наукові школи в Україні. Це академіки НАН України О.С.Парасюк, І.Р.Юхновський, Ю.О.Митропольський, С.В.Пелетмінський, член-кореспонденти НАН України Д.Я.Петрина, К.Д.Товстюк, В.П.Шелест, професор А.В.Свідзинський.

Микола Миколайович Боголюбов неодноразово бував у Львові, на кафедрі теоретичної фізики фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка та відділі статистичної теорії Інституту теоретичної фізики АН України.

Помер Микола Миколайович Боголюбов 13 лютого 1992 року у Москві.

90-річчя від дня народження академіка М.М.Боголюбова широко відзначила світова наукова громадськість.

У червні 1999 року у Львові відбулися боголюбівські читання, оскільки академік М.М.Боголюбов був ініціатором створення наукового відділу статистичної теорії конденсованих систем Інституту теоретичної фізики АН України (1969), який згодом став базою нової академічної устано-



Микола Миколайович Боголюбов біля фізичного факультету Львівського університету імені Івана Франка (вул. Кирила і Мефодія, м. Львів, 1959 рік)

ви у Західному регіоні України (1990). Сьогодні це Інститут фізики конденсованих систем НАН України, який очолює академік Юхновський Ігор Рафаїлович.

27 вересня 1999 року в Москві відкрилася Міжнародна конференція „Проблеми теоретичної і математичної фізики”, присвячена 90-річчю від дня народження академіка М.М.Боголюбова. Вона продовжила свою роботу у м. Дубні, а потім учасників боголюбівської конференції приймав Київ. Організаторами конференції були: Національна академія наук України, Російська академія наук і Об'єднаний інститут ядерних досліджень (ОІЯД). У роботі конференції брали участь провідні учені з Австрії, США, Канади, Німеччини, Росії, Білорусії, Казахстану, Узбекистану та інших країн.

Учасників Міжнародної боголюбівської конференції в Києві привітали Президент НАН України академік Б.Патон, голова Державного комітету України з питань науки і інтелектуальної власності член-кореспондент НАН України С.Довгий, директор Об'єднаного інституту ядерних досліджень В.Кадишевський, Президент Української Вільної академії наук у США, іноземний член НАН України, професор О.Біланюк, брат М.Боголюбова, академік РАН Михайло Миколайович Боголюбов і інші.

5-6 жовтня 1999 року в Державному університеті „Львівська політехніка” відбулася Всеукраїнська науково-методична конференція „Актуальні проблеми викладання і навчання фізики у вищих освітніх закладах”.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ УКРАЇНИ

Богдан Лукіянець

професор університету „Львівська політехніка”

Питання методики в освіті були і залишаються актуальними. Пізнання людиною навколишнього світу поглиблюються щоденно. Відкриваються нові явища, разом з ними народжуються нові терміни, нові моделі, новий математичний апарат. Перед викладачем виникають проблеми: які з найновіших наукових досягнень є вирішальними для розвитку людства (як наприклад, високо-температурна надпровідність) у майбутньому, а тому повинні бути обов’язково включені в освітні програми? Де та золота середина між строгістю та доступністю, яка дуже часто досягається спрощенням матеріалу під час його викладання? Оскільки програми за часом не безмежні, то вводячи новий матеріал, що чинити зі старим? Скорочувати? Як? На ці та багато інших запитань повинні дати відповіді дослідження у галузі методики освіти.

Зазначу, що методика викладання сьогодні особливо актуальна у фізиці. Це спричинене декількома обставинами. Одна з них має глобальний характер і пов’язана із закінченням „ери холодної війни”. Напружені міжнародні відносини, характерні для такої ери, створювали сприятливі умови для широкомасштабних досліджень у галузі фізики. Такі дослідження мали в переважній більшості або відверто військовий або опосередкований до нього характер. Нині потреба в них різко скоротилася (якщо не виходити з локальних інтересів, то, погодьмося, у загальному це позитивний факт), а разом з нею в усьому світі скоротилися видатки на фізичні дослідження. Це спричинило низку непростих проблем. Одна з них – перевиробництво фізиків. А тому потрібні пошуки пріоритетних програм фізичних досліджень, а вони торкають і питання освіти, починаючи від середньої школи до вищого навчального закладу.

Друга обставина, що визначає актуальність дослідження методики у фізиці, має локальний характер – сучасна складна економічна ситуація в Україні. Якщо не вживати конкретних кроків, зокрема, у викладанні та вивченні природничих наук, то з часом Україна може залишитись без нових філігранних, екологічно чистих, наукоємних технологій, що забезпечують низькі енергетичні та матеріальні затрати, і які, визначають промислове лице високорозвиненої держави.

Такі міркування оправдовують проведення не тільки згаданої Конференції, але й низки інших на подібну тему, які останнім часом проводяться дуже часто.

У роботі Конференції взяли участь науковці вищих навчальних закладів різних регіонів України. Конференція була відкритою і для викладачів фізики середніх спеціальних закладів та середніх шкіл. Та, на жаль, вони не скористалися такою нагодою. А їхній обмін думками, участь в дискусіях могли б сприяти розв’язанню не тільки проблем освіти в середніх навчальних закладах, але таких же проблем вищої школи.

У виступах учених з державного університету „Львівська політехніка” зверталася увага на досить тривожний факт у викладанні фундаментальних дисциплін у технічних навчальних закладах. Скорочення годин на викладання цих дисциплін приводить до того, що будь-які зусилля викладача малоефективні. Інший тривожний факт – намагання розірвати курси загальної фізики, вищої математики, хімії на частини. Такий крок разом зі скороченням годин не дає змоги дати цілісну картину про предмет, а отже, глибокі, стійкі знання – передумови для успішного формування високопрофесійного фахівця в конкретній вузькій галузі. Було запропоновано концепцію фундаментальної підготовки, яка б максимально

сприяла засвоєнню майбутніми фахівцями основ класичної і сучасної фізики та хімії, основних фізичних та хімічних методів дослідження, формування наукового світогляду та сучасного мислення. Принципи побудови навчальних програм з фізики детально розглядалися в доповіді науковців Львівського національного університету імені Івана Франка.

Декілька робіт були присвячені новим формам навчанням, зокрема, екстернату, дворівневій системі освіти у вищій школі. Ці форми – позитивна реакція, пошуки, спричинені перебудовою у господарському житті країни. Екстернат є особливою формою навчання осіб, які мають освітній рівень достатній для того, щоб шляхом самоосвіти отримати вищу освіту. Така форма дасть змогу підвищити свій фаховий рівень людям, яких традиційні форми навчання – стаціонарна чи заочна – не влаштовують. Тривалість екстернату не регламентується і визначається лише виконанням індивідуального плану кожного з екстернів. У роботі учених з державного університету „Львівська політехніка” обговорювались особливості лекційної, семінарської освіти, виконання лабораторних робіт, питання атестації знань екстернів.

Питання самоосвіти було темою доповідей науковців Харківського державного політехнічного університету. Самоосвіта у навчальному закладі – важливий крок до творчого оволодіння необхідними для фахової діяльності знаннями та навичками. Для посилення реальної самостійності студентів у вивченні програмного матеріалу з курсу фізики автори використовують блоково-модульну систему навчання у поєднанні з елементами рейтингового контролю. Важливим аспектом пропонованої самостійної роботи студентів є градація такої роботи, що враховує рівень підготовленості студента та його творчих здібностей. Питання про самоосвіту та її вдосконалення обговорювали і науковці з Рівненського державного технічного університету.

У багатьох виступах зверталася увага на той невітшаний факт, що наукоємні факультети навчальних закладів стали непопулярними серед молоді. Тому останнім часом на такі факультети приходять студенти без достатньої фізико-математичної підготовки, елементарних навичок самостійної роботи. Така ситуація спричинена, зокрема, тим, що протягом декількох років у

деяких вищих навчальних закладах скасовані вступні іспити з фізики, а середня школа погіршила якість навчання фізики та математики. Такі висновки підтверджують результати соціологічного опитування, проведеного серед студентів з університету „Львівська політехніка”: вступні іспитові оцінки з фізики в абітурієнтів значно нижчі (інколи на бал), ніж оцінки в їхніх атестах про закінчення середньої освіти. Інший вагомий доказ про зниження вимог у середніх школах в оцінювання знань – зростання кількості медалістів серед випускників шкіл. Учасники Конференції погодились, що така ситуація не тільки ненормальна, але й шкідлива, бо неоправдано присуджена медаль не лише не додає знань нагородженому, але й псує його. Це питання вимагає свого вирішення на державному рівні. Низька підготовка в середніх школах породила потребу „донавчання” – додаткової підготовки в межах шкільної програми учнів випускних класів, абітурієнтів. Про це йшлося в роботі науковців з м. Рівного. Зазначено, що катастрофічно низький рівень підготовки з фізики демонструють студенти, зараховані на комерційних умовах. Ситуація ускладнюється їх повною математичною безпорадністю.

На Конференції досить детально обговорювались питання про оцінювання знань студентів – модульний контроль та його форми, оцінювання за рефератами, тестами, колоквиуми, контрольні роботи, заліки, іспити, визначення рейтингу. Такі та інші питання були представлені у доповідях науковців з університету „Львівська політехніка”, Львівського національного університету імені Івана Франка, Донбаського гірничо-металургійного інституту, Українського державного лісотехнічного університету.

Чимало доповідачів говорили про лабораторний практикум як засіб, що сприяє розумінню суті фізичних явищ та глибшому їх засвоєнню. У таких роботах розглядаються або лабораторне устаткування або математичний опис й опрацювання результатів експерименту. Зокрема дослідження фазових переходів у кристалах, обертального руху, реєстрація сигналів від біологічних об'єктів, дослідження вольт-амперної характеристики тиристора, спектру поглинання атомів, роботи лазера, проведення комп'ютерного експерименту тощо. У процесі обговорення доповідей зазначалося, що матеріальне становище

лабораторій не витримує ніякої критики. В Україні не випускається лабораторне устаткування. Щоб поліпшити ситуацію було запропоновано створити державний банк даних з лабораторного устаткування.

Глибокому засвоєнню матеріалу сприяють лекційні демонстрації. Учасники Конференції оприлюднили праці, присвячені демонстраціям дисперсії повертання площини поляризації, малопроменевої інтерференції, петлі гістерезису феромагнетика, комплексу демонстрацій з теми „Рівняння Максвелла”, з використанням комп’ютера чи технічних засобів навчання.

Чимало доповідей було з методики викладання конкретних тем з курсу фізики – квантової механіки, коливних процесів, електростатики, термодинаміки, механіки. Не залишився поза увагою учасників Конференції внесок українських учених в розвиток фізики. Зокрема на прикладі наукової діяльності Олександра Смакули, 100 років від дня народження якого виповнюється 2000 року, були проаналізовані технології в сучасній експериментальній фізиці.

Результати плідних дискусій за матеріалами доповідей склали основу Ухвали Конференції. В одному з пунктів цієї Ухвали зосереджена увага на перенасиченні засобів масової інформації псев-

донауковими матеріалами, на тому, що майже відсутні повідомлення про наукові досягнення в Україні та світі. А тому учасники Конференції вирішили за доцільне звернутися в Державний комітет по радіо та телебаченню з проханням критично ставитися до матеріалів про наукову, науково-популярну тематику, хоча б на рівні коментарів провідних учених до сумнівних у науковому аспекті матеріалів. В іншому пункті йшлося про пошуки ефективного співробітництва середньої школи з вищими навчальними закладами. Зокрема ближчу, аналогічну до цієї, Конференцію провести з пріоритетною тематикою „Середня школа – вища школа: оптимізація освіти в галузі фізики”.

На Конференції було порушено питання про припинення необґрунтованої в сучасних умовах тенденції вилучати вступний іспит з фізики у вищих навчальних закладах. А тому запропоновано звернутися у Міністерство освіти України з проханням наказом відновити вступні іспити з фізики у вищі навчальні заклади, а також семестрові іспити (незалежно чи є якась проміжна форма контролю).

Конференція засвідчила, що в Україні є небайдужі до проблем освіти висококваліфіковані фахівці, здатні за умови узгоджених дій такі проблеми подолати.

У вересні 1999 року у м.Одесі відбулась Всеукраїнська науково-методична конференція „Актуальні питання комплексної освіти у спеціалізованих середніх навчальних закладах з підвищеними вимогами до вивчення природничо-математичних дисциплін”.

У грудні 1999 року у м. Львові відбулась Обласна науково-методична конференція „Актуальні проблеми викладання та навчання фізики в освітніх закладах I-III рівнів акредитації”.



У попередніх числах журналу „Світ фізики” у рубриці „Актуальні проблеми ...” досліджувався стан викладання фізики й астрономії у середніх та вищих навчальних закладах України. Були визначені негативні тенденції, які склались в державі з викладання фізики та інших природничих дисциплін. Конференції наукової та педагогічної громадськості України, що відбулись протягом 1999 року, підтвердили гостроту цих тенденцій.

Завдяки плідній праці учасників конференцій викристалізувались проблеми в освіті та намічено шляхи їх подолання. У більшості Ухвал таких конференцій є звертання до Президента, Міністерства освіти з конкретними пропозиціями розв’язати проблеми, які є у викладанні природничих дисциплін у вищих, середньо-спеціальних та середніх навчальних закладах України.

Сподіваємось, що Ухвали конференцій, звернення, пропозиції будуть проаналізовані у Міністерстві освіти, буде вжито невідкладних заходів для подолання цих тенденцій.



Нобелівську премію з фізики 1999 року Шведська Королівська Академія наук присудила Герардушту Гуфту (Gerardus't Hoof) та Мартіну Велтману (Martinus J.G.Veltman) за пояснення квантової структури електрослабких взаємодій у фізиці.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАУРЕАТИ

1989

**Годинники, які йдуть
точно...**



Ганс Дегмелт



Норман Рамзей



Вольфганг Пауль

Нобелівська премія 1989 року з фізики присуджена професорові Норману Рамзею (N. Ramsey) (США) за розроблення методу сепарації (розділення) молекулярних та атомних пучків і використання їх у водневому квантовому генераторі та інших атомних еталонах часу та професорам Гансу Дегмелту (H. Dehmelt) (США) і Вольфгангу Паулю (W. Paul) (ФРН) – другу половину премії за розроблення методики йонної пастки, яка зробила можливим спектроскопічне дослідження поодинокого йона або електрона.

Праці цих учених спричинили можливість створити сучасні еталони часу і частоти, які мають високу точність та стабільність. Саме за це ми цінуємо прилади, які вимірюють час.

Здавна і майже до наших днів люди використовували одиниці вимірювання часу, пов'язані з обертанням Землі. Земну кулю, яка обертається навколо своєї осі, можна розглядати як гігантський маховик, що обертається майже без тертя в дуже розрідженому середовищі. Однак багато факторів, наприклад: припливне тертя, переміщення великих мас всередині Землі при землетрусах, коливання висоти і густини атмосфери зумовлюють нерівномірність обертання Землі. Сукупна дія цих факторів приводить до того, що відносна нестабільність обертання Землі сягає ~

10^{-8} , що відповідає зміні ходу годинника, який пов'язаний з добовим обертанням Землі близько 1 с за 3 роки.

Зрозуміло, що прецизійне вимірювання нерівномірності обертання Землі є важливим для вивчення процесів, що відбуваються всередині Землі та поблизу її поверхні. Однак для таких досліджень потрібно мати годинник, нестабільність ходу якого повинна бути суттєво меншою від нерівномірності обертання Землі. Цей приклад ілюструє, яку вагу для науки має стабільний еталон часу. Тому вчені почали шукати шляхи для підвищення точності і стабільності еталону часу. Їхню увагу привернули системи, у яких здійснюються високостабільні коливання. Адже будь-який годинник складається з блоку, що задає періодичні коливання, та пристрою для підрахунку кількості коливань. Вже у 1950-х роках було добре відомо, що природними високостабільними осциляторами (осцилятор – тіло чи частинка, що здійснює коливання) є атоми та молекули. Вони при переході із збудженого в основний енергетичний стан випромінюють електромагнетний квант майже незмінної частоти. Правда, частота електромагнетних коливань, що випромінюють молекули, дуже висока. Наприклад, у молекулі аміаку частота дорівнює 23870129000 Гц. Різні атоми та молекули



випромінують електромагнетні хвилі з частотою такого ж порядку.

Жодний механічний пристрій не здатний підрахувати кількість таких коливань, це складно зробити за допомогою електронних пристроїв, адже випромінювання окремого атома чи молекули тривають майже 10^{-8} с.

Це вдалось здійснити у перших молекулярних годинниках. Для цього довгу металічну трубу (хвилевід) наповнили аміачним газом. З одного кінця хвилеводу генератором збуджували електромагнетні коливання. На другому кінці був розміщений прилад, що вимірював інтенсивність електромагнетної хвилі. Генератор у деяких межах міг змінювати частоту генерованих коливань. Якщо в процесі зміни частоти електромагнетних коливань їх частота збігатиметься з частотою коливань, що випромінює молекула аміаку, значна кількість молекул почне поглинати електромагнетну енергію і переходити в збуджений стан. Зрозуміло, що при цьому інтенсивність електромагнетної хвилі біля другого кінця хвилеводу виявиться меншою. Тобто на деякій частоті спостерігатиметься різке (резонансне) зменшення інтенсивності електромагнетних хвиль. Підтримуючи частоту генерації електромагнетних коливань в області резонансу, матимемо генератор електричних коливань сталої частоти, тобто певний прототип годинника.

У перших молекулярних аміачних годинниках, які розробив Г. Ліонс 1953 року, нестабільність ходу становила $\sim 10^{-7}$. Згодом нестабільність аміачних годинників була знижена до 10^{-8} . Загалом це, звичайно, висока точність, але згодом учені виявили, що стабільність і точність такого молекулярного годинника залежить від конструкції хвилеводу та температури і тиску газу. Фізичні причини, що обмежували точність аміачного годинника невдовзі були встановлені. Молекули аміаку здійснюють в хвилеводі хаотичні рухи, в результаті яких деякі із газових молекул рухаються назустріч електромагнетній хвилі, і тому частота резонансних коливань для них більша, ніж та, яку генерує генератор. Інші молекули рухаються в напрямку електромагнетної хвилі і для них частота нижча від номінальної. Лише для відносно незначної кількості нерухомих молекул частота електромагнетних коливань, що поглинаються, дорівнює номінальній. Описане явище –

це відомий повздовжній ефект Доплера, який і зумовлює розмивання різких країв кривої резонансного поглинання, що обмежує точність ходу таких молекулярних годинників.

Наприкінці 1950-х і на початку 1960-х років групі вчених із Американського бюро стандартів вдалось подолати ці труднощі. Те, що вони зробили, виявилось новим і точнішим стандартом частоти й часу. В їхньому еталоні частоти застосовували вже не молекули, а атоми. Причому атоми не заповнювали весь об'єм хвилеводу, а рухались пучком так, що напрямок їхнього руху був перпендикулярним до напрямку поширення електромагнетної хвилі. Так вдалось подолати повздовжній ефект Доплера. У приладі застосовували атоми цезію, для яких резонансна частота одного з переходів дорівнювала 9192631770 Гц, а атомарний пучок створювався термічним випаровуванням металічного цезію у вакуум і формувался за допомогою діафрагм (коліматорів). Якби учені обмежились лише цими вдосконаленнями, то стабільність годинника поліпшилась би, але незначно. Адже з розжареної пічки вилітають атоми, що знаходяться як в збудженому, так і в незбудженому станах. Отже, з'явилось нове завдання: на ділянці шляху від пічки до електромагнетного поля здійснити сепарацію пучка, тобто вилучити з пучка атоми, що знаходяться в збудженому стані. І тут знадобились методи, які розробив Н. Рамзеей, і які використовували для спектроскопічних досліджень. Вони ґрунтуються на тому, що атоми і молекули мають різні електричні й магнетні властивості у збуджених і незбуджених станах. В електричних і магнетних полях збуджені і незбуджені атоми відхилятимуться по-різному.

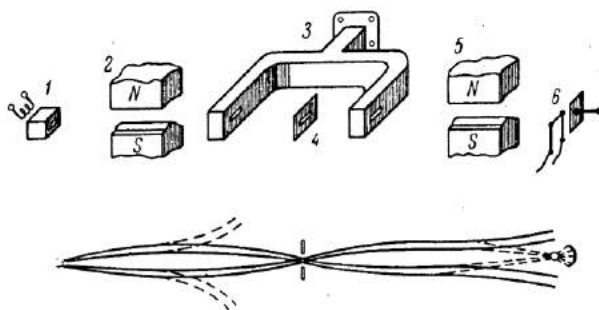


Рис. 1. Цезієвий еталон частоти
1 - джерело атомів цезію, 2, 5 - магнети,
3 - хвилевід, 4 - коліматор, 6 - детектор.



У цезієвому годиннику на шляху від джерела до електромагнетного поля встановлювали постійний магнет, який фокусував на щілині коліматора незбуджені атоми, а у збудженому стані виводив з пучка. Другий магнет, який розмістили між високочастотним електромагнетним полем і детектором навпаки виводив із пучка незбуджені атоми, а фокусував на детекторі збуджені. Така подвійна сепарація зумовила те, що до детектора долітали тільки ті атоми, які до входження в електромагнетне поле були в незбудженому стані, а потім у цьому полі перейшли в збуджений стан. При цьому залежність показів детектора від частоти електромагнетних хвиль виявилась дуже стрімкою і відповідно резонансна крива поглинання електромагнетної енергії була дуже вузькою. У результаті вжитих заходів задавальний блок атомно-цезієвого годинника уже міг реагувати на дуже малу зміну частоти генератора високої частоти і його використали в колі зворотного зв'язку генератора електричних коливань, тобто генератор завжди підстроювався так, щоб частота його коливань збігалася з частотою, при якій відбувається збудження атома цезію. У приладах такого типу вдалось зменшити нестабільність до 10^{-13} , а це відповідає похибці в одну секунду за 10 000 років! З 1967 року **одна секунда** визначається як час, протягом якого електромагнетне випромінювання атома цезію здійснює 9192631770 коливань.

Однак і цей пристрій не був позбавлений недоліків: спотворення форми електромагнетної хвилі і відносна короткочасність її дії на атоми пучка обмежують подальше підвищення його точності.

Наступне вдосконалення стандартів частоти і часу вдалось здійснити, використовуючи квантові генератори. Особливо перспективним виявився квантовий генератор, що працює на пучку атомів водню, який розробили Н. Рамзеєй, Д.Клепнер і Г. Гольденберг на початку 1960-х років. Цей генератор також складається з джерела частинок, сепаратора і резонатора змонтованих у трубі, яка охолоджується до низьких температур.

Джерело випромінює пучок атомів водню. У ньому є як незбуджені, так і збуджені атоми водню, причому незбуджених значно більше, ніж збуджених. Оскільки незбуджені атоми водню відрізняються від збуджених своїм магнетним

моментом, то для їх сепарації знову використовують магнетне поле. Особливо суттєвих змін зазнав хвилевід. Його зробили у вигляді колби із плавленого кварцу, внутрішні стінки якої вкрили парафіном (або тефлоном), він перетворився у резонатор. Завдяки багатократним пружним зіткненням атомів водню із шаром покриття час їх перебування у резонаторі суттєво зріс. Так вдалось отримати надзвичайно вузькі спектральні лінії випромінювання атомів водню і знизити нестабільність, що є характерною для цезієвого годинника. У водневих годинниках нестабільність становить $\sim 10^{-14}$.

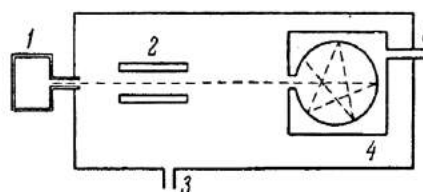


Рис. 2. Водневий еталон частоти

1 - джерело атомів водню, 2 - сепаратор, 3 - отвір для відкачування, 4 - резонатор, 5 - хвилевід.

Протягом наступних років водневі квантові генератори вдосконалювались. Учені зуміли охолодити прилад до температур нижчих за 1 К. Для цього стінки резонатора покривались надтекучим гелієм. Ці заходи знизили нестабільність до значень $\sim 10^{-18}$.

Нестабільність частоти такого ж порядку можна отримати, використовуючи випромінювання поодиноких йонів у спеціальних йонних пастках, які розробили В.Пауль та Г.Дагмелт.

Висока точність вимірювання часу з допомогою сучасних еталонів частоти дозволила уточнити значення деяких фундаментальних фізичних констант (наприклад, швидкість світла), перевірити деякі фізичні теорії, отримати інформацію стосовно нерівномірності обертання Землі, руху земної кори та успішно розв'язувати проблеми дальньої космічної навігації. І все це досягнуто завдяки натхненній праці вчених, що створили сучасні еталони часу і заслужено відзначені Нобелівською премією з фізики за 1989 рік.

Олександр Гальчинський,
канд. фіз.-мат. наук



Сонячне затемнення, що відбулося 11 серпня 1999 року, викликало значну зацікавленість серед величезної кількості людей в Європі. Багато з них спеціально на цей період вирушали у подорож до місць найкращого спостереження явища.

Ми публікуємо матеріали про сонячне затемнення відомих учених України (див. с. 3-9) та враження від цього явища астронома-аматора Дениса Ковпака, який спостерігав за ним в Угорщині.

110 секунд – на все життя

Я займаюсь астрономією вже 5 років і бачив багато цікавих астрономічних явищ, але спостерігати повне сонячне затемнення ще не доводилось. Тож затемнення 11 серпня 1999 року викликало у мене особливий інтерес. Я чекав його два роки. По-перше, це останнє повне сонячне затемнення цього тисячоліття, і, по-друге, що найголовніше, його можна спостерігати близько від України. Місячна тінь пройшла по територіях сусідніх держав, а саме Угорщини і Румунії. Наступне найближче сонячне затемнення відбудеться аж 2006 року в Росії. Отже, я зрозумів, що це мій останній шанс побачити грандіозне явище природи найближчі 50 років, не виїжджаючи у дуже дорогу експедицію.

На затемнення я вирушив у складі Українського молодіжного аерокосмічного об'єднання „Сузір'я”. Це єдина організація, що об'єднує астрономів-любителів України. Збір усіх учасників з різних міст відбувся в Ужгороді. Звідти три експедиції вирушили на свої місця спостережень. Одна група, до якої потрапив я, поїхала в Угорщину, на узбережжя озера Балатон (м. Кестлей), а друга – у Румунію, третя – на кордон Угорщини і Румунії. Так охоплювалась досить широка смуга затемнення. Єдине, що постійно турбувало мене – чи буде ясне небо.

На щастя, ранок середи 11 серпня 1999 року був особливо сонячним і безхмарним. Для спостережень ми вибрали дах ідальні готелю, в якому ми мешкали. Розмістивши апаратуру, а це фотоапарати „Зеніт” з довгофокусними об'єктивами на штативах, ми спостерігали за Сонцем через світлофільтри. Незабаром Сонце поступово почав закривати Місяць, через світлофільтр це було добре видно. В цей час неподалік угорські дівчатка мали репетицію, виконували народні пісні. Своєю сумною мелодією вони нам нагадували пісні, що співають за упокій душі. Наслухавшись про близький кінець світу, спостерігаючи затемнення і чуючи цей спів, ставало справді моторошно. Навколишні предмети набули неприродного свинцевого відтінку, тіні були короткі, як у полудень, з'явилося відчуття вечора. Це відчуття ще більше підсилювалось зниженням температури повітря, як згодом з'ясувалось аж на вісім градусів. Навколишня природа по-вечірньому притихла, в повітрі з'явилися рої комарів, птахи затихли, вітру не було, відчувалось, що ось-ось має

щось трапитись. До повного затемнення залишилось декілька секунд ...

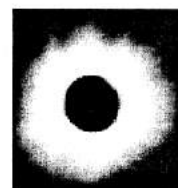
Ми дуже вдало вибрали місце для спостереження. Перед нами був невеличкий білий дашок, на якому ми мали змогу спостерігати дуже красиве видовище, так зване явище біжучих тіней. Це темні і світлі смуги, що рухаються по білій поверхні, вони чимось нагадували тіні на дні басейну від хвиль на поверхні води.

І накінець сталося! Навкруги різко потемніло, освітленість стала як пізнього вечора, однак горизонт був світлий. Подивившись у бік Сонця, я побачив на небі чорний круг оточений невеликим ореолом ніжно-бузкового кольору. Це була сонячна корона. Від цієї картини я на декілька секунд завмер і забув, що маю фотографувати. Повернувшись до дійсності, я почав фотографувати, лише деколи поглядаючи на Сонце. З планет на небі було видно Венеру, Меркурій і Юпітер, Сатурна я не побачив.

Неповні дві хвилини повної фази закінчились так швидко, що здавалось що час почав йти швидше. Несподівано з'явився перший промінь світла. Спалахнуло діамантове кільце і я встиг сфотографувати цей момент. Через 1-2 секунди зникла корона, почало прибувати світло.

З майданчика, де розташувалась основна група спостерігачів, почали долимати радісні вигуки, вітання. В цей час до мене підбіг мій керівник і так міцно обняв, що я подумав – напевно для мене це насправду буде кінець світу.

Повна фаза затемнення пролетіла як одна мить. Мною оволоділо почуття приналежності до чогось грандіозного і одночасно легеньке розчарування, що



Сонячне затемнення,
11 серпня 1999 р.,
м. Кестлей (Угорщина).
Фото Дениса Ковпака



рідкісне астрономічне явище, заради якого ми подолали тисячі кілометрів, вже минуло. Несподівано на Сонце найшла хмара, і я зрозумів як нам пощастило. Якби ми були в іншому місці, або хмара прийшла швидше, то нічого б не побачили. До речі, дві інші експедиції затемнення так і не спостерігали, в той день на їхніх спостережних майданчиках йшов безпросвітній дощ.

Я не ставив перед собою жодних важливих наукових завдань, хотів лише побачити це незвичайне явище

природи і власноруч зробити світлини. Я зробив декілька фотографій повної фази затемнення і отримав безліч вражень, яких вистачить, щоб розповідати про затемнення багато років.

Своїм обов'язком я вважаю висловити подяку моїм керівникам Хом'якові Василю Миколайовичу, Гнатиківі Богдану Івановичу за уважне ставлення до мене, за їхні поради. Моє захоплення – астрономія. Це таємниче незміряне зоряне небо, мене ніколи не залишає байдужим, а манить, викликає подив, захоплення.

Ковпак Денис,

студент 1-го курсу
географічного факультету
Львівського національного
університету імені Івана Франка



Денис Ковпак – навчається на географічному факультеті Львівського національного університету імені Івана Франка. Цікавиться астрономією, читає багато книжок на цю тему, має телескоп. Веде візуальні і фотографічні спостереження. Мріє про власну обсерваторію подалі від міста, щоб не заважало міське освітлення.

Чи знаєте Ви, як робляться відкриття?

На кафедрі теоретичної фізики Мюнхенського університету в кафе традиційно обговорювали питання, над якими працювали учені.

Якось П.Евальд зробив доповідь про коливання електронів у кристалічній ґратці. А в кафе уже протягом двох днів тривало обговорення дослідів з дифракції рентгенівських променів на вузькій щілині, з яких випливало, що їх довжина хвилі майже 10^{-9} см. Кристалічна ґратка П.Евальда мала сталу близько 10^{-8} см. Зіставляючи ці цифри, М.Лауе, який брав участь у дискусії, висловив припущення, що періодичний розподіл електронів мусить вплинути на поширення рентгенівських променів подібно до дифракційної ґратки. Цю думку заперечив скептик Е.Вагнер: який же може бути спектр, якщо ґратка є періодичною по трьох напрямках і спектри різних напрямків перекриватимуться? Лауе не погоджувався з запереченнями і ті, хто був у кафе, запропонували укласти парі на коробку шоколаду. Щоб установити, хто має рацію, Вальтер Фрідріх, який працював у Рентгена, взявся поставити на шляху променів кристал, а перпендикулярно до променів фотографічну пластинку, на якій повинні реєструватись розсіяні під прямим кутом рентгенівські промені. Але день за днем рентгенівська трубка справно працювала, а пластинка залишалась не засвіченою. В одній кімнаті з Фрідріхом працював молодий фізик П.Кніпінг, який через 2-3 тижні змушений був залишити лабораторію, а трубка, яка неперервно працювала, заважала його дослідом. Він поставив фотографічну пластинку так, щоб на неї потрапляли промені, які пройшли через кристал, для того, щоб побачити на ній хоча б що-небудь. І, велике відкриття здійснилось: на пластинці з'явилися симетрично розміщені плями, які не залишили сумнівів у тому, що Лауе мав слушність.

Так з'явилася знаменита праця Лауе, Фрідріха і Кніпінга, швидко появу якої спровокував скептицизм Вагнера.

Лауе одержав не тільки коробку шоколаду, але й Нобелівську премію з фізики 1914 року.

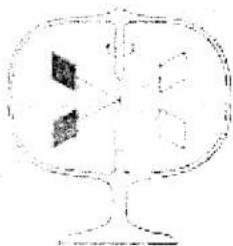


Радіометр

Задача VII Всеукраїнського турніру юних фізиків:

Визначить залежність кутової швидкості обертання крилець радіометра залежно від інтенсивності світлового потоку та концентрації молекул у його балоні.

Читачі знайомі зі шкільним радіометром, крильця якого обертаються під дією світла. Ще у XIX столітті з радіометром експериментували такі відомі учені, як Крукс, Гітдорф, Цельнер, Пуллой та інші. Вони встановили, що крильця радіометра, як правило, обертаються під дією світла у бік світлих крилець, хоч іноді крильця обертались в інший бік. Навколо механізму, який спричинює обертання „млинка” радіометра, точились дискусія [1]. Одні учені пояснювали явище обертання млинка тепловими ефектами, (збільшення тиску залишків повітря біля нагрітого світлом боку крилець), інші – емісією частинок з освітлених боків крилець, або тертям повітря об крильця радіометра. Спробуймо й ми пояснити дію „світлового млинка”.



Розгляньмо всі сили, які діють на крильця радіометра (нехай радіометр має два прямокутні крильця: з одного боку вони світлі, а з іншого – темні), тому зрозуміло, що під дією світла різні боки будуть по-різному нагріватись, на них діятиме різний тиск світла і газу всередині радіометра.

1. Розгляньмо два діаметрально протилежні крильця радіометра. Тиск світла на крильце, повернене до джерела світла світлим боком:

$$P_{I_c} = \frac{2I_0 \cos \alpha}{c};$$

на повернене темним боком:

$$P_{I_m} = \frac{I_0 \cos \alpha}{c},$$

де α - кут між напрямком поширення випромінювання і нормаллю до площадки.

Ми вважаємо, що світлий бік повністю відбиває світло, а темний – повністю його поглинає (модель абсолютно пружного і абсолютно непружного ударів).

Імпульс, який передається крильцям радіометра за час dt силою тиску світла:

$$dp_I = (P_{I_m} - P_{I_c})S dt.$$

Нехай крильця обертаються в напрямку до світлих боків крилець, тоді

$$dt = \frac{d\alpha}{d\omega}. \text{ Отже,}$$

$$dp_I(\alpha) = -\frac{I_0 S}{\omega c} \cos \alpha d\alpha. \quad (1)$$

У формулі (1) I_0 - інтенсивність світлового потоку падаючого світла; S - площа поверхні боку крильця; c - швидкість світла.

Імпульс, який передається крильцям радіометра силою тиску світла за один оберт:

$$\begin{aligned} P_I &= 4 \int_0^{\pi/2} dp_I(\alpha) = \\ &= -\frac{4I_0 S}{\omega c} \int_0^{\pi/2} \cos \alpha d\alpha = -\frac{4I_0 S}{\omega c}; \end{aligned}$$

2. Внаслідок різниці температур різних боків крилець (вважаємо їх теплоізольованими: температура темного боку – T_m , а світлого – T_c) на них будуть діяти різні тиски газу.

Нехай концентрація молекул газу n , молярна маса μ , середні швидкості при температурах T_m і T_c : c_m і c_c відповідно; тиски газу на темний і світлий боки крилець p_m і p_c відповідно; r – віддаль від осі радіометра до центру його крилець, тоді:

$$c_m = \sqrt{3RT_m/\mu}; \quad c_c = \sqrt{3RT_c/\mu},$$

де R – універсальна газова стала.

$$p_m = \frac{\mu}{3N_A} n(c_m - \omega r)^2, \quad (3)$$

$$p_c = \frac{\mu}{3N_A} n(c_c + \omega r)^2, \quad (4)$$

$$\Delta p = p_m - p_c = \frac{\mu}{3N_A} n(c_m^2 - c_c^2 - 2\omega r(c_m - c_c))^2. \quad (5)$$

Імпульс, який передається двом крильцям за час dt :



$$dp_T = 2\Delta p S dt, \quad (6)$$

$$dt = \frac{d\alpha}{d\omega}$$

Підстановкою (3) і (5) у (6), отримаємо:

$$dp_T = \frac{2\mu}{3N_A} nS \frac{d\alpha}{d\omega} \left(\frac{3RT_m}{\mu} - \frac{3RT_c}{\mu} - 2\omega r \sqrt{\frac{3R}{\mu}} (\sqrt{T_m} - \sqrt{T_c}) \right)$$

Оскільки температура крилець радіометра не може бути набагато вищою від температури середовища T_0 ,

то $\sqrt{T_m} \approx \sqrt{T_c} \approx \sqrt{T_0}$, якщо $\Delta T = T_m - T_c$, то

$$dp_T \approx \frac{2\mu}{3N_A} nS \frac{d\alpha}{d\omega} \left(\frac{3R\Delta T}{\mu} - 4\omega r \sqrt{\frac{3RT_0}{\mu}} \right); \quad (7)$$

Отже, імпульс, який передається крильцям силою тиску газу за один оберт, дорівнює:

$$P_T = \frac{4\pi S n}{3\omega} \left(3k\Delta T - 4\omega r \sqrt{\frac{3kT_0\mu}{N_A}} \right), \quad (8)$$

де $k = R/N_A$ - стала Больцмана.

3. По-різному нагріті боки крилець радіометра будуть випромінювати в навколишнє середовище світлову енергію. Це також створюватиме деякий тиск на крильця. Імпульс, який передається за час dt двом крильцям силою, що спричинена випромінюванням, буде такий:

$$dp_\sigma = 2 \frac{\Delta Q}{c} = 2 \frac{\Delta Q_m - \Delta Q_c}{c},$$

де ΔQ_m і ΔQ_c - енергії, що випромінюються темним і світлим боком відповідно.

За законом Стефана-Больцмана

$$\Delta Q_m = \sigma T_m^4 S dt; \quad \Delta Q_c = \sigma T_c^4 S dt, \quad (9)$$

де σ - стала Стефана-Больцмана.

Отже,

$$dp_\sigma = 2 \frac{\sigma S dt}{c} (T_m^4 - T_c^4) \approx 8 \frac{\sigma S d\alpha}{\omega c} T_0^3 \Delta T \quad (10)$$

За один оберт силою, яка спричинена випромінюванням, крильцям передається імпульс:

$$P_\sigma = \int_0^{2\pi} dp_\sigma = 16\pi \frac{\sigma S}{\omega c} T_0^3 \Delta T. \quad (11)$$

Сумарний імпульс, зумовлений дією світла на крильця радіометра, що передається їм за один оберт, дорівнює:

$$P = P_T + P_\sigma + P_I. \quad (12)$$

Для подальшого розв'язку задачі знаходимо ΔT . Під дією світла інтенсивністю I_0 на крильцях утвориться термодинамічна рівновага:

$$W_n + A I_0 S dt = \sigma T^4 S dt + \Delta E_{zazy}, \quad (13)$$

де W_n - енергія, яка поступає на кожний бік крилець з навколишнього середовища; A - коефіцієнт поглинання відповідного боку, T - її температура, ΔE_{zazy} - сумарна зміна кінетичної енергії молекул газу, що вдаряються об відповідний бік за час dt .

З кінетичної теорії газів:

$$\Delta E_{zazy} = \frac{3}{2} k(T - T_0) n S c dt,$$

де $c = \sqrt{3RT_0/\mu}$ - швидкість молекул газу.

Для темного боку $T = T_m$, $A = 1$, для світлого боку $T = T_c$, $A = 0$, тому рівність (13) можна переписати:

$$\begin{cases} W_n + I_0 S dt = \sigma T_m^4 S dt + \frac{3}{2} nk(T_m - T_0) \sqrt{3RT_0/\mu} S dt \\ W_n = \sigma T_c^4 S dt + \frac{3}{2} nk(T_c - T_0) \sqrt{3RT_0/\mu} S dt \end{cases}$$

Віднявши від однієї рівності другу, отримаємо:

$$I_0 = \sigma(T_m^4 - T_c^4) + \frac{3}{2} nk(T_m - T_c) \sqrt{3RT_0/\mu}. \quad (14)$$

Врахувавши, що $T_m^4 - T_c^4 \approx 4T_0^3 \Delta T$, отримаємо:

$$\Delta T \approx \frac{I_0}{4\sigma T_0^3 + \frac{3}{2} nk \sqrt{3RT_0/\mu}}. \quad (15)$$

Уведемо величину, яка характеризує ступінь розрідження газу в радіометрі:

$$\delta = \frac{n}{n_0},$$

де n_0 - концентрація молекул газу за нормальних умов. Тоді



$$n = n_0 \delta = \frac{N_A}{V_\mu} \delta, \quad (16)$$

де V_μ - молярний об'єм.

Підставивши формулу (16) у (15), отримаємо:

$$\Delta T \approx \frac{I_0}{4\sigma T_0^3 + \frac{3R}{2V_\mu} \delta \sqrt{3RT_0/\mu}}. \quad (17)$$

Наші оцінки показали, що вже при розрідженні близько $\delta = 10^{-2}$ другий доданок у знаменнику набагато менший від першого. Тому можна записати:

$$\Delta T = \frac{I_0}{4\sigma T_0^3}. \quad (18)$$

Так ми встановили різницю температур на різних боках крилець радіометра.

Момент сили, зумовлений дією світла на крилець радіометра, буде:

$$\begin{aligned} M_P &= \frac{P}{2\pi/\omega} r = \frac{rP\omega}{2\pi} = \\ &= \frac{2Sr}{c} (4\sigma T_0^3 \Delta T - \frac{I_0}{\pi} + \\ &+ \frac{c\delta}{V_\mu} (R\Delta T - 4\omega r \sqrt{RT_0\mu/3})) \end{aligned} \quad (19)$$

Проведені оцінки свідчать, що навіть при високому

розрідженні ($\delta = 10^{-9}$) доданок $\frac{\delta R \Delta T c}{V_\mu}$ переважає

доданок $4\sigma T_0^3 \Delta T - \frac{I_0}{\pi}$, тому останнім можна знех-

тувати. Отже, при розрідженні газу до $\delta = 10^{-9}$ переважаючою дією на „світловий млинок” буде різний тиск газу на нагрітий і ненагрітий бік крилець такого млинка. Враховуючи це, формулу (19) запишемо:

$$M_P \approx \frac{2S\delta}{V_\mu} \left(R\Delta T - 4\omega r \sqrt{\frac{RT_0\mu}{3}} \right). \quad (20)$$

Зрозуміло, що на осі радіометра в місці кріплення крилець діють сили тертя, які створюють гальмуючий момент M , що перешкоджає рухові (обертанню) крилець. Очевидно, що M є пропорційним до маси крилець m . $m = N\rho S$, де N - кількість крилець, ρ -

поверхнева густина крилець (у $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$).

Отже

$$M = \alpha m = 2\alpha\rho S, \quad (21)$$

де α - коефіцієнт пропорційності. Умовою того, що крилець рухатимуться буде:

$$\frac{2S\delta R \Delta T}{V_\mu} \geq 2\alpha\rho S \quad (22)$$

Якщо умова (22) виконується, то кутову швидкість обертання крилець радіометра визначимо з рівняння

$$M_P - M = 0.$$

$$\frac{2S\delta}{V_\mu} \left(R\Delta T - 4\omega r \sqrt{\frac{RT_0\mu}{3}} \right) - 2\alpha\rho S = 0. \quad (23)$$

Звідки

$$\omega = \frac{\delta R \Delta T - V_\mu \alpha \rho}{4r\delta} \sqrt{\frac{3}{RT_0\mu}} \quad (24)$$

Або врахувавши (18), запишемо:

$$\omega = \left(\frac{I_0 R}{16\sigma r T_0^3} - \frac{V_\mu \alpha \rho}{4r\delta} \right) \sqrt{\frac{3}{RT_0\mu}} \quad (25)$$

Формула (25) справедлива в межах наближень, які ми застосували: $10^{-9} < \delta < 10^{-2}$.

Для значень $\delta > 10^{-2}$ кутова швидкість обертання крилець радіометра визначатиметься:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{RI_0 V_\mu \sqrt{3}}{16r V_\mu \sigma T_0^3 \sqrt{RT_0\mu} + 6R^2 r \delta T_0 \sqrt{3}} - \\ &- \frac{V_\mu \alpha \rho}{4r\delta} \sqrt{\frac{3}{RT_0\mu}} \end{aligned} \quad (26)$$

Аналіз одержаних виразів (25), (26) дає змогу зробити висновок, що кутова швидкість обертання крилець радіометра пропорційна інтенсивності випромінювання і не залежить від кількості крилець, оскільки моменти сил M_P та M пропорційні до кількості крилець.

1. Роман Гайда, Роман Пляцко. Іван Пулюй. Львів: НТШ, 1998. 284 с.

Володимир Хороз,
студент 1-го курсу
ЛНУ ім. Івана Франка
Віталій Лесівців,
студент 4-го курсу
ЛНУ ім. Івана Франка

Розв'язки задач Всеукраїнської олімпіади з фізики 1999 р.

(Продовження, умови задач див. у журналі "Світ фізики" 1999. № 3(7))

10-й клас

Задача 1.

На момент вирівнювання тисків (у посудині і ззовні) у посудину потрапить газ, що займав в атмосфері об'єм V_0 . За умовою, процес заповнення посудини відбувається без теплообміну, тобто внутрішня енергія газу об'ємом V_0 змінюється тільки внаслідок роботи, яку виконує над ним атмосфера:

$$\Delta U = A \Rightarrow C_V \nu (T - T_0) = P_0 V_0 \quad (1)$$

(робота виконується атмосферою при постійному тиску).

З рівняння стану одержимо:

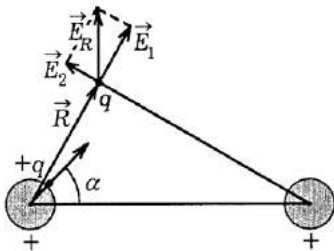
$$P_0 V_0 = \nu R T_0 \quad (2)$$

Підставмо (2) в (1):

$$\begin{aligned} C_V \nu (T - T_0) &= \nu R T_0 \Rightarrow \\ \Rightarrow T &= \frac{C_V + R}{C_V} T_0 \end{aligned}$$

Задача 2.

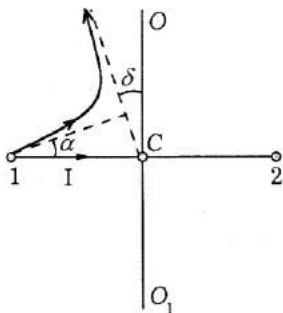
У загальному випадку напрямок руху заряду можна визначити, лише інтегруючи рівняння руху заряду



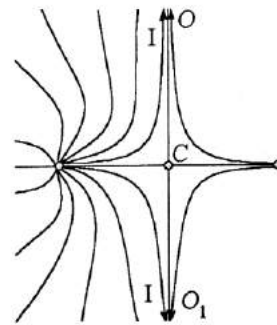
$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E}_R$$

Враховуючи, що рух плоский, є сенс скористатись полярними координатами. Але цей розв'язок надто складний.

Проте є випадок, коли можна обійтись без розв'язку рівнянь руху. Це випадок руху заряду з дуже малою масою, коли можна знехтувати його інерційністю, тобто вважати, що заряд рухається уздовж лінії напруженості електричного поля.



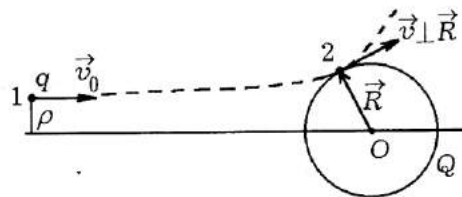
Враховуючи, що рух відбувається у площині, перпендикулярній до циліндричних провідників 1 і 2, розглянемо лінії напруженості поля у цій площині. Біля провідника 1 лінії рівномірно розходяться у плоскому куті 2π (знехтуємо полем провідника 2). На великій відстані лінії так само рівномірно розходяться відносно центру симетрії нашої системи С, але зараз лінії одного провідника розходяться у плоский кут π . Тобто кут між двома довільними лініями, що вийшли з одного провідника, зменшується у 2 рази. Це пояснюється тим, що лінії обох провідників не перетинаються, а на великій відстані від провідників модуль напруженості електричного поля, усіх



рівновіддалених від центру симетрії системи точок, однаковий. Лінії поля не перетинають площину симетрії OO_1 , по цій площині на великій відстані піде лінія поля, що виходить з провідника 1 у напрямку на провідник 2. Отже, якщо заряд вилітає по лінії під кутом α до лінії 12, на великій відстані від системи, ця лінія, а відповідно і швидкість руху заряду, становитиме кут $\delta = \alpha/2$ з площиною OO_1 симетрії системи.

Задача 3.

Нехай $q \cdot Q > 0$



Заряд рухається у центральному полі сил заряду Q, тому відносно точки O для положень 1 і 2 можемо записати закон збереження моменту імпульсу заряду q:

$$mv_0 \rho = mvR. \quad (1)$$

Система зарядів q і Q ізольована. Для положень 1 і 2 запишімо закон збереження енергії:

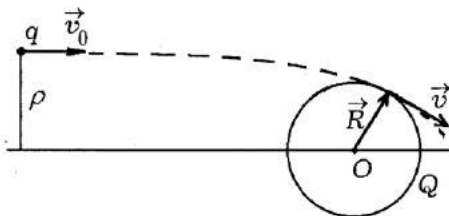
$$\frac{mv_0^2}{2} + \Pi_Q = \frac{mv^2}{2} + k \frac{qQ}{R} + \Pi_Q, \quad (2)$$

де Π_Q – енергія електричного поля зарядів на сфері (вважасмо, що з наближенням заряду q , заряди на сфері не перерозподіляються).

Розв'язавши систему рівнянь (1) і (2), отримаємо:

$$\rho = R \sqrt{1 - \frac{2kqQ}{mv_0^2 R}}, \text{ тобто діаметр пучка } d = 2\rho.$$

Якщо $q \cdot Q < 0$



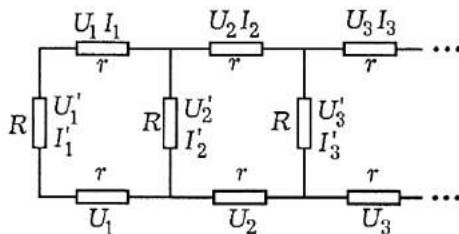
Розв'язок не змінюється:

$$\rho = R \sqrt{1 + \left| \frac{2kqQ}{mv_0^2 R} \right|}.$$

Зрозуміло, що заряди потраплять на сферу за умови

$$q \cdot Q > 0, \text{ якщо } \frac{2kq \cdot Q}{mv_0^2 R} < 1.$$

Задача 4.



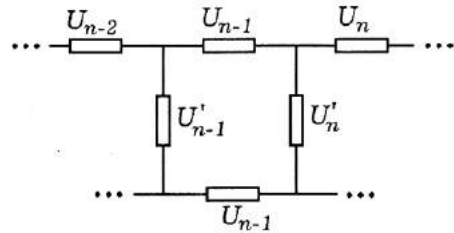
Позначення на схемі введено із урахуванням симетрії кола. Розгляньмо першу комірку.

$$U'_2 = 2U_1 + U'_1,$$

$$I'_2 = I_2 - I_1 = \frac{U_2}{r} - \frac{U_1}{r} = \frac{U_2 - U_1}{r},$$

$$\begin{aligned} \frac{(U_2 - U_1)}{r} R &= 2U_1 + \frac{U_1}{r} R \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{R}{r} &= \frac{2U_1}{U_2 - 2U_1} = 2 \end{aligned} \quad (1)$$

Розгляньмо $(n-1)$ комірку



$$\begin{aligned} I_n = I_{n-1} + I'_n &\Rightarrow U_n = I_n r = \\ &= \frac{U_{n-1}}{r} r + \frac{U'_n}{R} r \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} U'_n = 2U_{n-1} + U'_{n-1} &= 2U_{n-1} + I'_{n-1} \cdot R = \\ &= 2U_{n-1} + (I_{n-1} - I_{n-2})R = \\ &= 2U_{n-1} + \left(\frac{U_{n-1}}{r} - \frac{U_{n-2}}{r} \right) R \end{aligned} \quad (3)$$

Звідси випливає, що

$$U_n = U_{n-1} + 2U_{n-1} \frac{r}{R} + U_{n-1} - U_{n-2}.$$

Враховуючи (1), отримаємо:

$$U_n = 3U_{n-1} - U_{n-2}. \quad (4)$$

Використовуючи рекурентну формулу (4), розрахуємо

$$U_3 = 3U_2 - U_1 = 8B, \quad U_4 = 3U_3 - U_2 = 21B,$$

$$U_5 = 3U_4 - U_3 = 55B.$$

Напряга джерела

$$\begin{aligned} U &= U'_1 + 2(U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5) = \\ &= 178B \end{aligned}$$

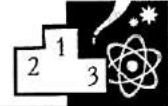
Задачу можна розв'язувати послідовно, розраховуючи електричне коло від першої комірки до останньої.

Задача 5.

При охолодженні суміші водяної пари і повітря об'єм зменшується, водяна пара конденсується.

Запишімо рівняння для початкового стану:

$$\text{суміші} - P_0 V_1 = RT_1 \Rightarrow V_1 = \frac{RT_1}{P_0}, \quad (1)$$



водяна пара – $P_{e1}V_1 = \nu_{e1}RT_1$, (2)

повітря – $P_{n1}V_1 = \nu_nRT_1$. (3)

V ₁		V ₂	
$\varphi=1$	P ₀	$\varphi=1$	P ₀
T ₁ =288K		T ₁ =278K	
P ₀ =10 ⁴ Па		P ₀ =10 ⁴ Па	

Для кінцевого стану

повітря – $P_{n2}V_2 = \nu_nRT_2$, (4)

водяна пара –

$P_{e2}V_2 = \nu_{e2}RT_2 = (\nu_{e2} - \nu_e)RT_2$. (5)

Врахуймо, що

$P_0 = P_{e1} + P_{n1}$, (6)

$P_0 = P_{e2} + P_{n2}$. (7)

Розв'язавши систему рівнянь (1-7), отримаємо:

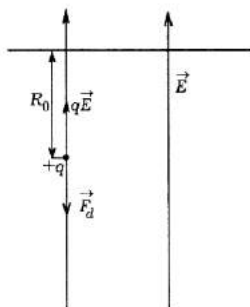
$$m_e = \nu_e \mu_e = (\nu_{e1} - \nu_{e2}) \mu_e = \mu_e \frac{P_{e1} - P_{e2}}{P_0 - P_{e2}} = 1,62 \text{ г}$$

11-й клас

Задача 1.

а) Нехай йон у вакуумі над поверхнею діелектрика, і тоді на нього діє сила F_{α} притягання до поверхні. Уявно накладемо такий же діелектрик на вакуум так, що в цьому уявному діелектрику йон буде знаходитись під його поверхнею. Але тоді, в цілому, діелектрик став безмежним, і на йон не повинні діяти сили. Це означає, що сила в уявному діелектрику компенсувала силу притягання F_{α} . Отже, під поверхнею діелектрика на йон діє виштовхувальна від поверхні сила, яка дорівнює за величиною F_{α} .

б)

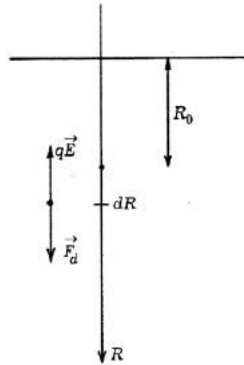


Визначимо рівноважну відстань заряду від поверхні

$$Ee = \frac{Ae^2}{R_0^2} \Rightarrow R_0^2 = \frac{Ae}{E}$$

При виведенні заряду з положення рівноваги він починає рухатись під дією сил. Запишімо другий закон Ньютона:

$$ma = -eE + \frac{Ae^2}{(R+dR)^2} = -\frac{Ae^2}{R_0^2} + \frac{Ae^2}{(R_0+dR)^2} = -Ae^2 \frac{R_0^2 + 2R_0dR + dR^2 - R_0^2}{R_0^2(R_0+dR)^2} \approx -\frac{Ae^2 2dR}{R_0^3}$$



(Враховано, що $dR \ll R_0$). Ми отримали диференціальне рівняння, розв'язком якого є рівняння гармонічних коливань з частотою

$$\omega = \sqrt{\frac{2Ae^2}{R_0^3 m}} = 4 \sqrt{\frac{4eE^3}{m^2 A}}$$

в) Електрон втягується під електрод і зосереджується біля поверхні рідкого гелію доти, доки поле E_1 , яке створюють електрони, не скомпенсує поле конденсатора над хмарою електронів. Між хмарою електронів і верхньою пластиною поле відсутнє, це означає, що потенціали електронної хмари і верхньої пластини однакові, тобто різниця потенціалів U виявляється прикладеною до обкладок фактично нового конденсатора, верхньою пластиною якого є електронна хмара, а нижньою – нижня пластина конденсатора. На електронну хмару діє електричне поле нижньої пластини конденсатора. Тиск на електронну хмару $P = \sigma E_0$, де σ – заряд одиниці площі поверхні хмари, E_0 – поле нижньої пластини. Внаслідок цієї дії електронна хмара, взаємодіючи з поверхнею рідини, разом з нею опускається вниз доти, доки електричний тиск на хмару не скомпенсується гідростатичним тиском рідини.

$$\sigma E_0 = \rho gh \quad (1)$$

Заряд нового конденсатора

$$\sigma S = C'U = \frac{\epsilon \epsilon_0 S U}{d'} \quad (2)$$

Електричне поле в конденсаторі з діелектриком

$$E = \frac{U}{d'}$$

Поле нижньої пластини конденсатора у межах діелектрика

$E'_0 = \frac{U}{2d'}$ (поле конденсатора створюється обома його пластинами), за межами діелектрика, тобто

в області електронної хмари у ϵ разів більше, ніж у діелектрику

$$E_0 = \frac{\epsilon U}{2d'} \quad (3)$$

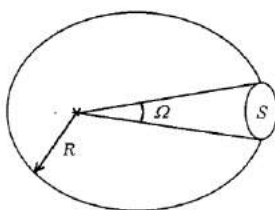
Враховуючи (1), (2) і (3), отримаємо:

$$h = \frac{\epsilon_0 \epsilon^2}{2\rho g} \left(\frac{U}{d'} \right)^2$$

Задача 2.

Визначимо потужність світла, що падає на парус

$$W = \frac{L\Omega}{4\pi} = \frac{LS}{4\pi R^2} = \frac{Lr^2}{4R^2}$$



Силу тиску світла на парус визначимо за другим законом Ньютона

$$F_c t = \frac{Wt}{c} \cdot 2 \Rightarrow F_c = \frac{2W}{c} = \frac{Lr^2}{2R^2 c} \quad (1)$$

$\left(\frac{Wt}{c} \cdot 2 \right)$ – зміна імпульсу світла, що нормально відбивається). Повна сила, що діє на космічний корабель:

$$F = \gamma \frac{mH}{R^2} - \frac{Lr^2}{2cR^2} = \frac{\alpha}{R^2}, \quad (2)$$

$$\text{де } \alpha = \left(\gamma m M - \frac{Lr^2}{2c} \right) = \text{const.}$$

Якщо сила $F \sim \frac{1}{R^2}$.

Це означає, що для руху корабля виконується закон збереження моменту імпульсу і закон збереження енергії (зрозуміло, що потенційна енергія взаємодії

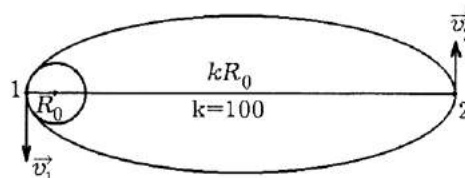
корабля і зірки буде $\Pi = -\frac{\alpha}{R}$).

Закон збереження моменту імпульсу:

$$mv_1 R_0 = mv_2 k R_0 \quad (3)$$

Закон збереження енергії:

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{\alpha}{R_0} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{\alpha}{kR_0} \quad (4)$$



Другий закон Ньютона (рух по колу):

$$\frac{mv_1^2}{R_0} = \gamma \frac{mM}{R_0^2} \quad (5)$$

Розв'язавши систему рівнянь (2) - (5) отримаємо:

$$r = \sqrt{\frac{\gamma m M c (k-1)}{Lk}} = 10^3 \text{ м.}$$

Задача 3.

Нехай $I = \alpha t$, тоді $\epsilon_{ci} = -L \frac{dI}{dt} = -\alpha L$.

Напруга на конденсаторі $U_c = \frac{q_c - \Delta q}{C}$,

де $\Delta q = \int Idt = \int \alpha t dt = \frac{\alpha t^2}{2} + \text{const}$ – заряд, що пішов

з конденсатора, тоді закон Ома для неоднорідної ділянки кола:

$$0 = U_c + \epsilon_{ci} \Rightarrow \alpha L = \frac{q_0 - \text{const}}{C}$$

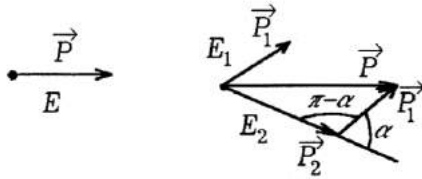
Визначимо const з початкових умов $t=0$, $\alpha L C_0 - q_0 = \text{const}$, де C_0 – початкова ємність конденсатора. Тоді:

$$\alpha L C = q_0 - \frac{\alpha t^2}{2} + \alpha L C_0 - q_0 \Rightarrow$$

$$C = C_0 \left(1 - \frac{\alpha t^2}{2LC_0} \right)$$



Задача 4.



Запишімо закон збереження імпульсу $\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$ та закон збереження енергії $E = E_1 + E_2$. Піднесімо рівняння до квадрата:

$P^2 = P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \alpha$ (теорема косинусів для трикутника імпульсів).

$$P^2 = \frac{E_1^2}{c^2} + \frac{E_2^2}{c^2} + 2 \frac{E_1 E_2 \cos \alpha}{c^2} \quad (1)$$

Враховано $P_1 = \frac{E_1}{c}$; $P_2 = \frac{E_2}{c}$.

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \alpha \quad (2)$$

Від (2) віднімемо (1)

$$E^2 - c^2 P^2 = 2E_1 E_2 - 2E_1 E_2 \cos \alpha \Rightarrow$$

$$\frac{E^2 - c^2 P^2}{2E_1 E_2} = 1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \Rightarrow$$

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{E^2 - c^2 P^2}{4E_1 E_2}$$

Кут розльоту фотонів буде мінімальним при максимальному значенні добутку $E_1 \cdot E_2$. Останній буде

максимальним при $E_1 = E_2 = \frac{E}{2}$. (Доведіть це твердження),

$$\text{тоді } \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{c^2 p^2}{E^2} = 1 - \frac{c^2 m^2 v^2}{m^2 c^4}$$

Враховано, що $P = mv$, $E = mc^2$, тоді

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \cos^2 \frac{\alpha}{2} \Rightarrow v = c \cos \frac{\alpha_{min}}{2}$$

Задача 5.

Перше зображення виникає внаслідок відбивання світла від опуклої поверхні лінзи, тобто від дзеркала

$$D_1 = \frac{1}{F_1} = -\frac{2}{R} = -\frac{2}{F}$$

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f_1} = -\frac{2}{F} \Rightarrow f_1 = -\frac{dF}{2d+F} \Rightarrow$$

$$k_1 = \left| \frac{F}{2d+F} \right|$$

Друге зображення виникає після проходження світла через оптичну систему, що складається з розташованих упритул лінзи, увігнутого дзеркала і знову лінзи.

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = \frac{4}{R} \Rightarrow F_2 = \frac{R}{4} = \frac{F}{4}$$

Але оптична сила лінзи дорівнює:

$$D_n = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) = \frac{1}{R}, \text{ тобто } F = R, \text{ тоді:}$$

$$D_2 = \frac{1}{F_2} = \frac{4}{R} \Rightarrow F_2 = \frac{R}{4} = \frac{F}{4}$$

$$\frac{4}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_2} \Rightarrow f_2 = \frac{dF}{4d-F} \Rightarrow k_2 = \frac{F}{4d-F}$$

За умовою

$$k = \frac{k_2}{k_1} = \frac{2d+F}{4d-F} \Rightarrow d = \frac{F(1+k)}{4k-2} \quad (1)$$

Третє зображення дає лінза

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_3} \Rightarrow f_3 = \frac{dF}{d-F} \Rightarrow \Rightarrow k_3 = \frac{F}{d-F} \quad (2)$$

$$(1) \rightarrow (2) \Rightarrow k_3 = \frac{4k-2}{3k-3} = -4$$

Будемо бачити уявне зображення (розташоване за лінзою), пряме зображення (усі уявні зображення прямі) збільшене у 4 рази.

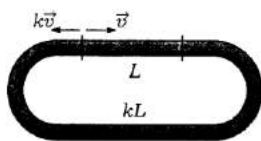
Розв'язки підготував
Володимир Алексейчук

Розв'язки задач обласної олімпіади з фізики школярів Львівщини за 1999 р.

(Умови задач див. у журналі "Світ фізики" 1999. № 2(6))

8-й клас

Задача 1.



Як видно з рисунка, довжина кола стадіона

$$S = L + kL .$$

Кидання куска дерева масою m еквівалентне доливанню води масою m , це впливає з закону Архімеда (вага дерева дорівнює вазі витісненої деревом води). Нехай l - довжина стовпа доданої води.

$$l = \frac{m}{\rho_0 S} , \quad (2)$$

де S - площа поперечного перерізу трубки. Умова рівноваги в кінцевому стані – рівновага тисків на рівні В

$$\rho(h-l+x)g = \rho_0(h-l+x-H+x)g . \quad (3)$$

Розв'язавши систему рівнянь (1-3) одержуємо:

$$l-x = \frac{mh}{(h+H)\rho_0 S} .$$

Тоді об'єм рідини, що вилілась, дорівнює

$$V = (l-x)S = \frac{mh}{\rho_0(h+H)} .$$

Задача 2.

Нехай: $t_1 = 10$ хв, $t_2 = 40$ хв, t_3 - час, коли температура знову почне змінюватись, $\Delta T = 100$ °С. Якщо потужність нагрівника P стала, тоді кількість теплоти, що йде на плавлення льоду

$$Q_{\text{пл}} = m_{\text{л}} \lambda = P t_1 ; \quad (1)$$

кількість теплоти, що йде на нагрівання води від 0 до 100 °С

$$Q_{\text{в}} = c_{\text{в}}(m_{\text{н}} + m_{\text{в}})\Delta T = P(t_2 - t_1) ; \quad (2)$$

кількість теплоти, що йде на випаровування води

$$Q = r(m_{\text{н}} + m_{\text{в}}) = P(t_3 - t_2) . \quad (3)$$

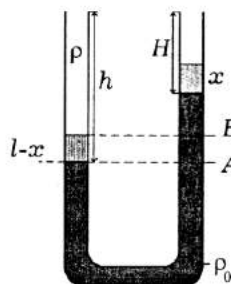
Поділивши (2) на (1), отримаємо

$$\frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{л}}} = \frac{(t_2 - t_1)\lambda}{t_1 c_{\text{в}} \Delta T} - 1 = 1,4 ,$$

тоді поділивши (3) на (2):

$$t_3 = t_2 + \frac{r(t_2 - t_1)}{c_{\text{в}} \Delta T} = 202 \text{ хв} .$$

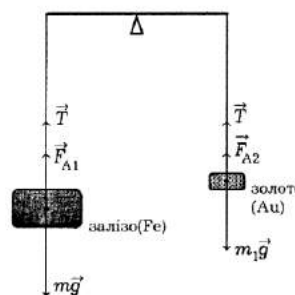
Задача 3.



У початковому стані (до кидання куска дерева) запишімо умову рівноваги (рівність тисків на рівні А впливає з закону сполучених посудин):

$$\rho g h = \rho_0 g (h - H) \Rightarrow \rho = \rho_0 \frac{h - H}{h} . \quad (1)$$

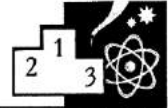
Задача 4.



Умова рівноваги рівноплечних терезів – рівність сил натягу ниток:

$$mg - \rho_{\text{в}} g \frac{m}{\rho_{\text{Fe}}} = m_1 g - \rho_{\text{в}} g \frac{m_1}{\rho_{\text{Au}}} .$$

$$\text{Отже, } m_1 = m \frac{(\rho_{\text{Fe}} - \rho_{\text{в}})\rho_{\text{Au}}}{(\rho_{\text{Au}} - \rho_{\text{в}})\rho_{\text{Fe}}} = 590 \text{ г} .$$



Задача 5.

Очевидно, що в умові задачі задано тертя кочення $\alpha = 0,01$. При рівномірному русі сила тяги автомобіля F дорівнює силі тертя кочення F_0 .

$$F_T = F_0 = \alpha(m + M)g.$$

Тоді

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{затр}}} = \frac{F_T v t_0}{q m_0} \Rightarrow$$

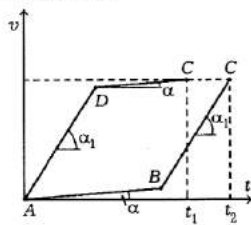
$$\Rightarrow v = \frac{\eta q m_0}{\alpha(m + M) g t_0} = 17,6 \text{ м/с}$$

9-й клас

Хочу висловити деякі зауваження до формулювання і підбору задач у 9-му класі. Задача 1 сформульована некоректно: 1) саночки по вертикальних ділянках не їздять; 2) відсутні спряження між ділянками руху; 3) по АВС саночник просто не поїде; 4) не задано коефіцієнт тертя.

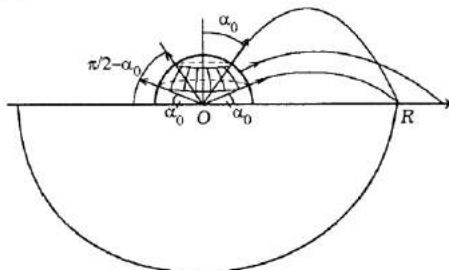
Для розв'язування задачі 2 учні мають володіти ще й математичним аналізом. В умові порушується закон збереження імпульсу. Задача 3 вимагає знання аналізу функцій на екстремум.

Задача 1.



Задачу розв'яжімо графічно для випадку бусинок, що ковзають по дротинах без тертя (щоб не розраховувати втрати швидкості на ділянках спряження). Побудуймо для обох бусинок графіки залежності швидкості від часу. Кінцеві швидкості однакові (це впливає з закону збереження енергії), а площі під графіком дорівнюють шляху, пройденому тілом, тому зрозуміло, що $t_1 < t_2$.

Задача 2.



За межі лунки потраплять уламки, що вилітають під кутами від α_0 до $(\pi/2 - \alpha_0)$, тобто через сферичний сегмент площею:

$$S = 2\pi \left(\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_0\right) - \sin\alpha_0 \right) R^2. \quad (1)$$

Тоді маса уламків, що вилетіли, буде

$$m = M \frac{S}{4\pi R^2}, \quad (2)$$

де $4\pi R^2$ - площа сфери.

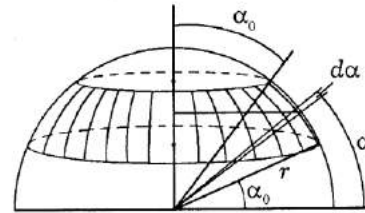
Визначимо α_0 з рівняння $R = \frac{v^2 \sin 2\alpha_0}{g}$, звідки

$$\alpha_0 = \frac{1}{2} \arcsin \frac{Rg}{v^2}. \quad (3)$$

Зрозуміло, що розглядається випадок $Rg < v^2$.

Враховуючи (1-3), одержимо

$$m = \frac{M}{2} \left(\sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{Rg}{v^2}\right) - \sin\left(\frac{1}{2} \arcsin \frac{Rg}{v^2}\right) \right).$$



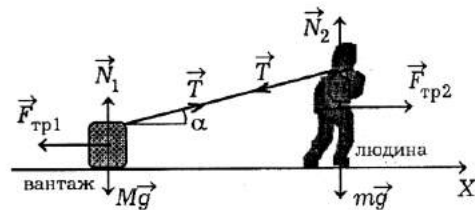
Розрахуємо площу сферичного сегменту. Виберімо елемент поверхні у вигляді колової смужки шириною $r d\alpha$. Його

площа $dS = 2\pi r^2 \cos\alpha d\alpha$. Тоді площа

$$S = \int_{\alpha_0}^{\pi/2 - \alpha_0} dS = \int_{\alpha_0}^{\pi/2 - \alpha_0} 2\pi r^2 \cos\alpha d\alpha =$$

$$= 2\pi r^2 \left(\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_0\right) - \sin\alpha_0 \right)$$

Задача 3.



Визначимо мінімальну силу, яку прикладає людина. Умова зміщення вантажу - це рівність сил уздовж осі Oх:

$$T \cos \alpha = \mu (M g - T \sin \alpha) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{\mu M g}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \quad (1)$$

Визначимо кут α , при якому T приймає мінімальне значення. Для цього проаналізуємо знаменник виразу (1). Знайдемо похідну знаменника по α і прирівняємо її до нуля.

$$(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)' = -\sin \alpha + \mu \cos \alpha = 0 \Rightarrow \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \mu \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1) визначимо мінімальне значення T :

$$T_{\min} = \frac{\mu Mg}{\sqrt{1 + \mu^2}} \quad (3)$$

Остання формула справедлива для випадку, коли людина залишається на місці, тобто:

$$\mu (mg + T \sin \alpha) > T \cos \alpha \Rightarrow m > M \frac{1 - \mu^2}{1 + \mu^2} \quad (4)$$

Тобто, за умови (4) відповідно задачі є рівність (3). Нехай

$$m \leq M \frac{1 - \mu^2}{1 + \mu^2} \quad (5)$$

Запишемо граничну умову нерухомості людини

$$T \cos \alpha = \mu (mg + T \sin \alpha) \quad (6)$$

Розв'яжімо систему рівнянь (1) і (6):

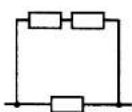
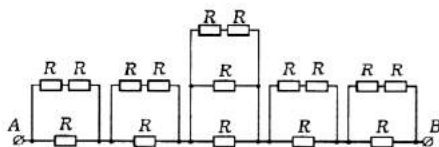
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\mu} \left(\frac{M - m}{M + m} \right) \quad (7)$$

$$T = \frac{g}{2} \sqrt{\mu^2 (m + M)^2 + (M - m)^2} \quad (8)$$

За умови (5) відповідно задачі є рівність (8).

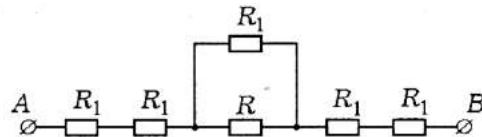
Задача 4.

Еквіваленте коло:



$$\text{Нехай } R_1 = \frac{2R}{3},$$

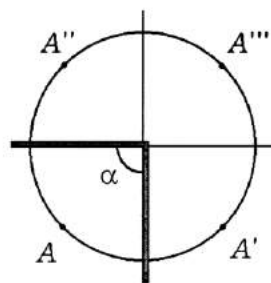
тоді:



Звідси випливає

$$R_{AB} = 4R_1 + \frac{R_1 R}{R_1 + R} = \frac{46}{15} R$$

Задача 5.



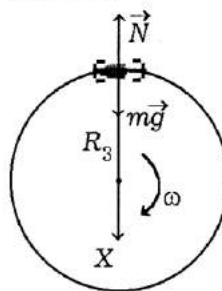
Нехай $\alpha = 90^\circ$. Зрозуміло, що зображення, зображення зображень і т.д. знаходяться на колі (див. рис.).

Якщо $\frac{360}{\alpha} = N_0$ - ціле число, то кількість зображень

скінченна і дорівнює $N = \frac{360}{\alpha} - 1$. Якщо ж $\alpha < 90^\circ$ мінімальна кількість зображень $N_{\min} = 4$, буде при $\alpha_1 = 72^\circ$, максимальна кількість зображень $N_{\max} \rightarrow \infty$ - у випадках, коли $360/\alpha$ - не ціле число.

10 -й клас

Задача 1.



Автомобіль рухається по колу радіуса R_3 (радіус Землі). При русі з заходу на схід його швидкість відносно земної осі

$$v_1 = v + \omega R_3 = v + \frac{2\pi R_3}{T_3},$$

T_3 - період обертання Землі. Запишемо другий закон Ньютона

для руху по колу:
ОХ:

$$\frac{mv_1^2}{R_3} = mg - N_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_1 = mg - m \left(v + \frac{2\pi R_3}{T_3} \right)^2 / R_3 \quad (1)$$

У випадку руху зі сходу на захід маємо:
ОХ:

$$\frac{mv_2^2}{R_3} = mg - N_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N_2 = mg - m \left(v - \frac{2\pi R_3}{T_3} \right)^2 / R_3 \quad (2)$$

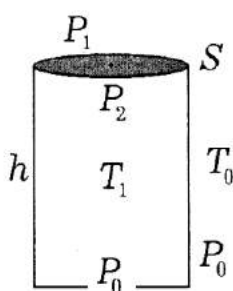
$$\Delta N = N_2 - N_1 =$$

$$= \frac{m}{R_3} \left(\left(v + \frac{2\pi R_3}{T_3} \right)^2 - \left(v - \frac{2\pi R_3}{T_3} \right)^2 \right) =$$

$$= \frac{8\pi m v}{T_3} = 29 \text{ Н}$$

Різниця сил тиску ΔP автомобіля за модулем дорівнює різниці сил реакції опору ΔN .

Задача 2.



На дошку діють сили тиску зовнішнього повітря

$$F_1 = P_1 S = (P_0 - \rho_0 g h) S$$

і сила тиску повітря в трубі

$$F_2 = P_2 S = (P_0 - \rho_1 g h) S.$$

Тоді

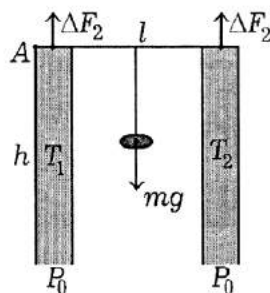
$$\Delta F_1 = F_2 - F_1 = (\rho_0 - \rho_1) g h S =$$

$$= \left(\frac{P_0 \mu_n}{RT_0} - \frac{P_0 \mu_n}{RT_1} \right) g h S =$$

$$= \frac{P_0 \mu_n g h S}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1} \right) = 22 \text{ Н}$$

У другому випадку

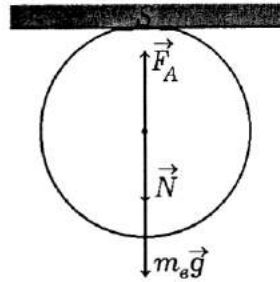
$$\Delta F_2 = \frac{P_0 \mu_n g h S}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_2} \right) = 70 \text{ Н}.$$



Враховуючи, що $\Delta F_2 > \Delta F_1$, зрозуміло, що дошка буде обертатися навколо точки А першого димаря. Тоді умову рівноваги відносно точки А

запишемо як $\Delta F_2 l = mg \frac{l}{2}$ (розмірами димаря знехтуємо). $m = \frac{2\Delta F_2}{g} = 14 \text{ кг}$.

Задача 3.



Визначимо об'єм кулі (при $T = 300 \text{ К}$ - кімнатна температура)

$$V_k = \frac{m_b RT}{\mu_b P_b} \quad (1)$$

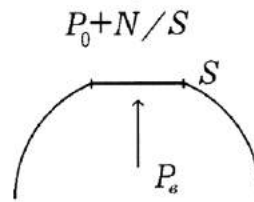
З умови рівноваги кулі визначимо силу реакції стелі

$$N = F_A - m_b g = \rho_n g V_k - m_b g =$$

$$= \frac{P_0 \mu_n}{RT} g \frac{m_b RT}{\mu_b P_b} - m_b g = m_b g \left(\frac{P_0 \mu_n}{P_b \mu_b} - 1 \right) \quad (2)$$

Врахуємо, що густина повітря $\rho_n = \frac{P_0 \mu_n}{RT}$, μ_n і μ_b -

молярні маси повітря і водню. Поверхня кулі у місці дотику плоска, тому сила реакції опору розподілена рівно-



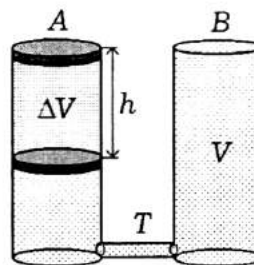
мірно: $P_0 + \frac{N}{S} = P_b$,

отже,

$$S = \frac{N}{P_b - P_0} = \frac{m_b g}{P_b - P_0} \left(\frac{P_0 \mu_n}{P_b \mu_b} - 1 \right) =$$

$$= 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 2,6 \text{ мм}^2$$

Задача 4.



Враховуючи те, що газ у посудині теплоізолюваний (нехтуємо теплоємністю поршня і посудини), використаємо перший закон термодинаміки

$$Q = 0, \Delta U = A \quad (1)$$

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu R T_2 - \frac{3}{2} \nu R T_1 =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad (2)$$

- зміна внутрішньої енергії газу; $A = mgh$ - робота поршня над газом (враховано, що тиск газу залишається постійним, тобто поршень опускається рів-



номірно і сила тиску на газ дорівнює силі тиску газу).
Сила тиску газу зрівноважує поршень

$$PS = mg \Rightarrow A = PSh = P\Delta V. \quad (3)$$

Для початкового стану запишімо рівняння Менделєєва-Клапейрона

$$PV = \nu RT_1; \nu R = PV/T_1. \quad (4)$$

Підставивши (4) у (2), одержимо

$$\Delta U = \frac{3PV}{2T_1}(T_2 - T_1). \quad (5)$$

Для початкового і кінцевого станів з рівняння Менделєєва-Клапейрона маємо

$$\frac{V}{T_1} = \frac{2V - \Delta V}{T_2} \Rightarrow \Delta V = 2V - \frac{VT_2}{T_1}. \quad (6)$$

Останнє рівняння (6) підставимо в (3):

$$A = PV \left(2 - \frac{T_2}{T_1} \right), \quad (7)$$

а далі (7) і (5) у рівняння (1):

$$\frac{3PV}{2T_1}(T_2 - T_1) = PV \left(2 - \frac{T_2}{T_1} \right),$$

звідки

$$T_2 = \frac{7}{5}T_1 = 420 \text{ К}.$$

Задача 5.

Електрони перестають потрапляти на кулю, якщо

$$\frac{mv^2}{2} \leq e\varphi, \quad (1)$$

де φ - потенціал сфери, який дорівнює $\varphi = k \frac{Ne}{R}$.

Визначімо кількість електронів N , що потрапили на кулю, виходячи з (1):

$$\frac{mv^2}{2} = k \frac{Ne^2}{R} \Rightarrow N = \frac{mv^2 R}{2ke^2}. \quad (2)$$

Запишімо закон збереження енергії для початкового і кінцевого станів системи:

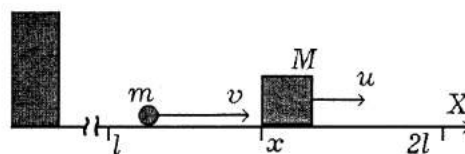
$$N \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} q\varphi + Q, \quad (3)$$

кінетична енергія електронів (на нескінченності нехтуємо взаємодією електронів між собою) перетворюється в енергію електричного поля зарядженої кулі й внутрішню енергію кулі. З (3), враховуючи (2), маємо

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{Q}{C_k} = \frac{N \cdot \frac{mv^2}{2} - \frac{1}{2} N e k \frac{Ne}{R}}{C_k} = \\ &= \frac{R}{2kC_k} \left(\frac{mv^2}{2e} \right)^2 = \frac{\pi \epsilon_0 R}{2C} \left(\frac{mv^2}{e} \right)^2. \end{aligned}$$

11-й клас

Задача 1.



Враховуючи, що m значно менша M , ніж будемо вважати, що:

– час між ударами $t = 2x/v$ є дуже малим,

– швидкість куба u значно менша від швидкості кульки v , тобто з кожним зіткненням куб отримує імпульс

$\Delta P_x = 2mv$, а модуль швидкості кульки змінюється

на $\Delta v_k = -2U$ (це легко зрозуміти, перейшовши в систему відліку куба);

– швидкість куба змінюється дуже повільно, для простоти розгляду будемо вважати, що вона змінюється плавно. Тоді при ударі прискорення кульки, усереднене за час t , дорівнюватиме:

$$a = v' = \frac{\Delta v}{t} = \frac{-2Uv}{2x} \Rightarrow \quad (1)$$

$$\Rightarrow v'x + uv = 0 \Rightarrow v'x + vx' = 0$$

Враховано, що швидкість куба $u = x'$.

З (1) випливає, що

$$(v \cdot x)' = 0 \Rightarrow v \cdot x = const \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_0 l = v \cdot 2l \Rightarrow v = v_0/2$$

швидкість кульки в момент часу, коли куб перемістився на l .

Із закону збереження енергії для початкового і кінцевого станів маємо:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2 \cdot 4} + \frac{Mu^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow u = \frac{v_0}{2} \sqrt{\frac{3m}{M}} = 0,27 \text{ м/с}$$

Задача 2.

Визначимо кількість зіткнень молекул газу зі стінкою

$$Z = \frac{1}{6} n v t S = \frac{1}{6} \frac{N}{V} \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} S t$$

Тоді кількість зіткнень однієї частинки зі стінками

$$Z_1 = \frac{Z}{N} = \frac{1}{6 \sqrt[3]{V}} \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \cdot t \approx 2,3 \cdot 10^3$$

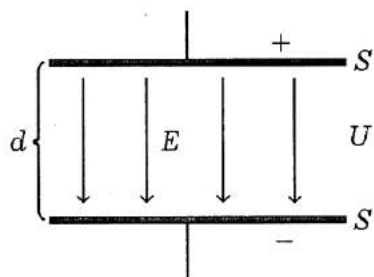
При точних розрахунках з урахуванням розподілу Максвелла кількість зіткнень зі стінкою посудини

$$Z = \frac{1}{4} n \langle v \rangle S t$$

тоді

$$Z_1 = \frac{Z}{N} = \frac{1}{4 \sqrt[3]{V}} \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} t = 3,1 \cdot 10^3$$

Задача 3.



Модуль заряду пластин конденсатора визначається $q = CU = \frac{\epsilon_0 S}{d} U$.
Напруженість електричного поля в конденсаторі

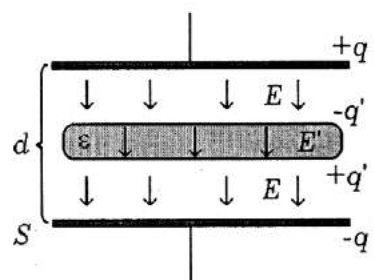
$$F = q E_1 = \frac{\epsilon_0 S U^2}{2d^2}$$

дорівнює сумі полів окремих пластин.

Поле однієї пластини дорівнює $E_1 = \frac{U}{2d}$. Друга пластина знаходиться у полі першої. Звідси випливає,

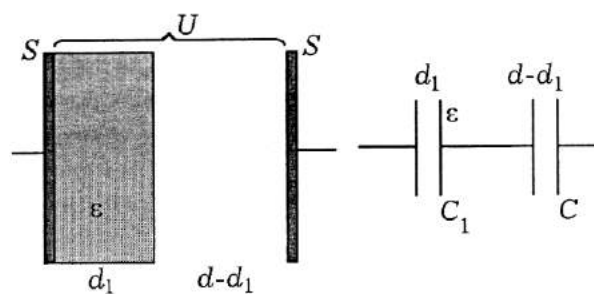
що $F = q E_1 = \frac{\epsilon_0 S U^2}{2d^2}$. За третім законом Ньютона, на першу пластину діє така сама сила.

а) Якщо ввести діелектрик у поле конденсатора, тоді внаслідок його поляризації у середині діелектрика виникне власне поле, що спричинює зменшення зовнішнього в межах діелектрика, але за межами діелектрика поле не зміниться (заряд конденсатора залишається незмінним, тому



виникне власне поле, що спричинює зменшення зовнішнього в межах діелектрика, але за межами діелектрика поле не зміниться (заряд конденсатора залишається незмінним, тому

що він від'єднаний від джерела). Постійність поля за межами діелектрика легко зрозуміти, якщо діелектрик розглядати як додатковий конденсатор, який не створює поле за межами своїх пластин, а можна скористатись і теоремою Остроградського-Гаусса. Таким чином сила взаємодії пластин у випадку а) залишиться незмінною.



б) Еквівалентне коло має вигляд двох послідовно з'єднаних конденсаторів. (Ми скористалися тим фактом, що внесення тонкої провідної пластини у конденсатор не змінює його ємності, тобто на поверхню діелектрика завжди можна помістити тонкі металічні пластини і одержати два конденсатори з'єднані послідовно. Одна поверхня діелектрика торкається пластини конденсатора для простоти розрахунку, якби вона не торкалась пластини потрібно було би розглядати три конденсатори з'єднаних послідовно, але від цього загальна ємність не зміниться). Сила взаємодії пластин у випадку б) змінюється внаслідок зміни заряду пластин (конденсатор під'єднаний до джерела). Розрахуємо ємність всієї системи

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} \cdot \frac{\epsilon_0 S}{d-d_1}}{\frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d_1} + \frac{\epsilon_0 S}{d-d_1}} = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\epsilon(d-d_1) + d_1}$$

Тоді заряд системи, як і заряд усіх пластин конденсаторів системи буде

$$q = \frac{\epsilon \epsilon_0 S U}{\epsilon(d-d_1) + d_1}$$

Напруженість поля в другому конденсаторі

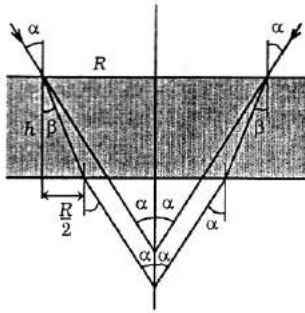
$$E_2 = \frac{U_2}{d-d_1} = \frac{q}{C_2(d-d_1)} = \frac{\epsilon U}{\epsilon(d-d_1) + d_1}$$

Сила на пластину конденсатора

$$F = \frac{E_2}{2} q = \frac{\epsilon^2 \epsilon_0 S U^2}{2(\epsilon(d-d_1) + d_1)^2}$$

Це і є сила, яка діє на пластини нашого конденсатора.

Задача 4.



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$$

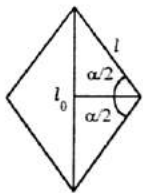
З рисунка

$$\frac{R}{2h} = \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} \Rightarrow$$

$$h = \frac{R \sqrt{1 - \sin^2 \beta}}{2 \sin \beta} = \frac{R \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{2 \sin \alpha}$$

Задача 5.

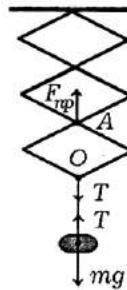
Початкова довжина пружини $l_0 = 2l \sin \frac{\alpha}{2}$,



а кінцева $l_1 = 2l \sin \frac{\beta}{2}$.

Видовження пружини при вантажем

$$\Delta l = 2l \left(\sin \frac{\beta}{2} - \sin \frac{\alpha}{2} \right)$$



У стані рівноваги $T = mg$. Встановімо зв'язок між силою пружності і силою натягу нитки T , для чого змістимо точку O на нескінченно малу величину dx (щоб сили T і $F_{пр}$ можна було вважати незмінними), тоді роботи цих сил дорівнюватимуть одна одній

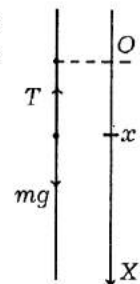
$$T dx = F_{пр} \cdot \frac{dx}{3}$$

(враховано, що точка A переміститься на $\frac{dx}{3}$), звідси

$$\frac{F_{пр}}{3} = T \Rightarrow \frac{k \Delta l}{3} = T = mg$$

Розгляньмо коливання системи. Для цього виведемо систему з положення рівноваги

$$ma = mg - T$$



$$ma = mg - \frac{k \left(\Delta l + \frac{x}{3} \right)}{3} = mg - mg - \frac{kx}{9} = -\frac{kx}{9},$$

$$ma = -\frac{k}{9} x \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{9m}} = \sqrt{\frac{g}{3\Delta l}}$$

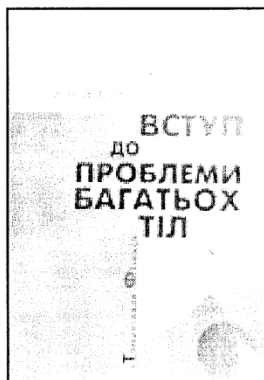
Розв'язки підготував
Володимир Алексєйчук

Чи знаєте Ви, що ...

Сріблясті хмари – це незвичайні хмари. Ці хмари складаються з дрібноесеньких космічних пилинок діаметром від 0,2 до 0,5 мікрон, до складу яких входить залізо та нікель. Пилінки на висоті близько 100 км є своєрідними центрами, навколо яких конденсуються розсіяні у верхніх шарах атмосфери пари „земної води”. Тому кожна пилінка вкрита льодяною кіркою, яка ефективно розсіює сонячне проміння. Так завдяки поєднанню земної і космічної речовини породжуються сріблясті хмари – одне з унікальних утворень в атмосфері нашої планети.

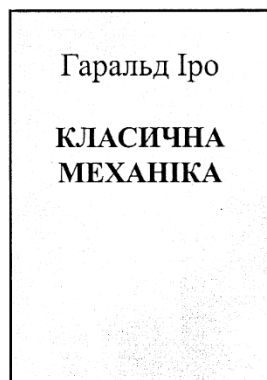
ВАКАРЧУК І. О. Вступ до проблеми багатьох тіл. Посібник. – Львів: Львівський національний університет ім. Івана Франка, 1999. – 220 с.: 12 іл.

Навчальний посібник для студентів фізичних спеціальностей вищих навчальних закладів освіти, аспірантів та молодих учених.



„...Творчість фізиків живиться незбагненою вірою в те, що формули фундаментальних законів охоплюють і надчуттєві принципи Буття, саме ця віра і штовхає їх час від часу на виснажливі метафізичні блукання бездоріжжями потойбічності в надії знайти і подолати шлях до першопричин. На наш погляд, завдання фізика-теоретика полягає не у конструюванні простих залежностей між фізичними величинами, які можна прикидно встановити, скажімо методом розмірностей (хоча і це важливо), а в установленні фундаментальних законів та вмінні з першопринципних рівнянь, таких як рівняння Ньютона у класичній механіці чи рівняння Гайзенберга у квантовій механіці, які охоплюють і містять у собі незбагнено тонкі й глибокі зв'язки між явищами, вилучати ціною вдалих та контрольованих наближень механізми фізичних закономірностей з усім їхнім багатством і красою, і цим бодай хоча б трохи скорочувати відстань до Істини.”

ГАРАЛЬД Іро. Класична механіка /Пер. з нім. Романа Гайди, Юрія Головача. За редакцією Івана Вакарчука – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 1999. – 464 с.



Підручник австрійського фізика-теоретика Гаральда Іро – приклад книжки, яка вдало поєднує в собі „класичний” курс теоретичної механіки з нетрадиційними елементами, засвідчуючи власний потяг автора і його досвід у викладанні курсу механіки в університеті Йоганна Кеплера в Лінці. (Австрія).

Основною відмінністю пропонованої українському читачеві книжки від традиційних курсів класичної механіки є розгляд теорії нелінійних динамічних систем, дослідження хаотичної поведінки в таких системах, розгляд нових задач про динамічні системи (теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера). Одночасно значна увага приділяється висвітленню питань, які раніше не вважалися традиційними в курсі теоретичної механіки – це лінійний аналіз стійкості, детальне обґрунтування різних випадків руху гіроскопа, задача двох центрів і обмежена проблема трьох тіл.

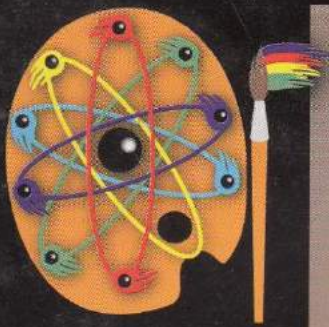


ВИДАВНИЦТВО “ЄВРОСВІТ” ПРОПОНУЄ:

1. Лещух Р.Й., Пермяков В.В, Полухтович Б.М. Юрські відклади півдня України. - Львів: Євросвіт, 1999. -336 с.
2. Лейфура В.М., Мітельман І.М. та ін. Задачі міжнародних математичних олімпіад та методи їх розв'язування. - Львів: Євросвіт, 1999. -128 с.
3. Роман Гайда та Роман Пляцко. Іван Пулюй. - Львів: НТШ, 1998. -284 с.
4. Іван Вакарчук. Квантова механіка. - Львів: ЛДУ ім. І.Франка, 1998. -616 с.: 73 іл.
5. Іван Франко. Абу-Касимові капці. - Львів: Євросвіт, 1998. -96 с.: 10 іл.
6. Орест Попович. Партії та розповіді шахіста з Америки. - Львів: Академічний експрес, 1996. -153 с.

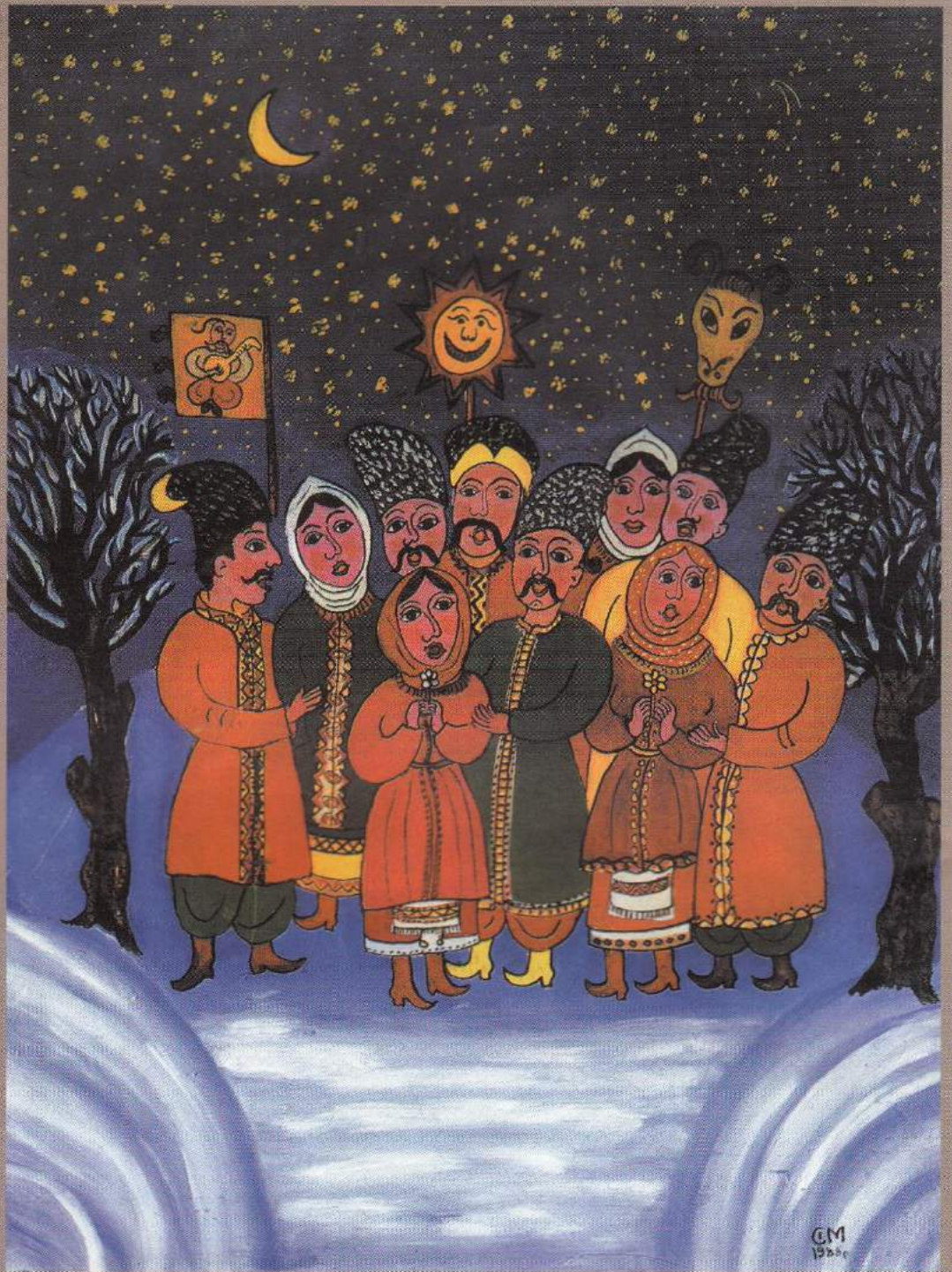
Адреса: вул. Саксаганського, 1, 79005 м. Львів, Україна.

Тел.: 380 0322 72 68 11; Ел. пошта: sf@ktf.franko.lviv.ua.



МИСТЕЦЬКА
СТОРІНКА
ЖУРНАЛУ
"СВІТ ФІЗИКИ"

І. М. Сколоздра
(нар. 1939 р.)
Радуйся, земле!
1988
с. Розвадів
Львівської обл.
Скло, олія. 35x28
Власність автора



СМ
1988



*Вітаємо з 2000 роком та
Різдвом Христовим!*

Не забудьте передплатити журнал "Світ фізики"
на наступний рік

Передплатний індекс 22577