

С В І Т

ФІЗИКА

науково-популярний журнал

№2
2007



*Результати досліджень
Дж. Мезера і Дж. Смута –
це найважливіше відкриття сторіччя,
якщо не всіх часів*

Стівен Гокінг

ВІДЗНАКА “ЗА ПОПУЛЯРИЗАЦІЮ ФІЗИКИ В УКРАЇНІ”

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

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

Відзнаку “За популяризацію фізики в Україні” 2006 року одержали:

Ігор АНІСІМОВ за внесок у розвиток фізики, за роботу з обдарованою молоддю.

Олександр КАМІН за популяризацію турнірного руху, за організацію Луганської
відкритої юніорської ліги турніру юних фізиків.



Ігор Олексійович АНІСІМОВ народився 1958 року в м. Києві, закінчив 1975 року середню школу № 145 м. Києва, 1980 року – радіофізичний факультет Київського державного університету імені Т. Г. Шевченка. Працює на радіофізичному факультеті Київського університету з 1980 року на посадах асистента (1980–1988), доцента (1989–2001), професора кафедри напівпровідникової електроніки (2001–2002). Соросівський доцент (1995). Від 2002 року завідує кафедрою фізичної електроніки. Кандидатську дисертацію захистив 1987 року, докторську – 2000. Основні напрямки наукової роботи пов’язані з теоретичним дослідженням хвильових процесів у неоднорідних плазмово-пучкових системах, а також дослідженням хаотичної динаміки в радіоелектроніці та фізиці плазми. Має також публікації з історії архітектури Києва. Читає курси лекцій “Коливання і хвилі”, “Статистична радіофізика”, “Синергетика” та інші. Автор

навчального посібника “Коливання і хвилі”. Член журі Всеукраїнських учнівських олімпіад з фізики, Всеукраїнських учнівських та студентських турнірів з фізики, науковий керівник команди школярів України на міжнародних олімпіадах з фізики. Автор багатьох задач Всеукраїнських олімпіад з фізики, турнірів юних фізиків.

Олександр Леонідович КАМІН народився 1947 року. Фізикою захопився в 10-му класі. Закінчивши школу, вступив на фізико-математичний факультет педагогічного інституту, де крім обов’язкової програми, самостійно вивчав теоретичну фізику за книжками Фейнмана, Ландау і Ліфшица. Після інституту, рік служив в армії, в радіотехнічних військах, де товаришам зі служби викладав курс електротехніки, щодня розв’язував цікаві задачі та читав художню літературу. Працював учителем фізики в школі. Тринадцять років працював тренером із шахів, фізику в ці роки викладав як репетитор, читав окремі курси у вищих навчальних закладах Луганська, вів факультативні заняття у фізико-математичній школі, єдиній в місті.

Від 1993 року школярі Луганська, яких готує О. Л. Камін із сипом Олександром, успішно беруть участь у Всеукраїнському турнірі юних фізиків: двічі перемогли, двічі – друге місце і сім разів – третє. 2007 року команда школярів Луганська брала участь у Міжнародному ТЮФі в Кореї. О. Камін – член журі Всеукраїнського ТЮФу. О. Л. Камін 1997 року організував у Луганську відкриту Юніорську лігу ТЮФ (проведено вже 11 турнірів). Із 1994 року він проводить виїзні семінари і навчальні курси, на яких навчав учителів і школярів розв’язувати дослідницькі та винахідницькі задачі з фізики. Провів понад сотню таких семінарів, із них в Україні майже десять і один у Німеччині. Каміни організували в Луганську цікаву астрономічну олімпіаду “Космічна Одиссея”. Має наукові публікації, науково-популярні статті та книжки. Його книжка “Фізика власними силами” витримала декілька перевидань накладом 40 тисяч примірників.



СВІТ ФІЗИКИ

науково-популярний журнал

2(38)'2007

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

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

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

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

Олекса Біланюк

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Юрій Ранюк

Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор

Мирослава Прихода

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

Адреса редакції:

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

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

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

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

*Фундаментальні знання про природу –
один з найбільших скарбів і належать
вони всьому людству...*

Лео Есаки

У 90-х роках минулого сторіччя у незалежній Україні почали відкривати навчальні заклади нового типу: коледжі, ліцеї, гімназії, які потребували нових методик викладання, обладнання та навчальної літератури. Якраз тоді й відчувалась гостра потреба в науково-популярній літературі українською мовою. Усе це спонукало до творення нових видань.

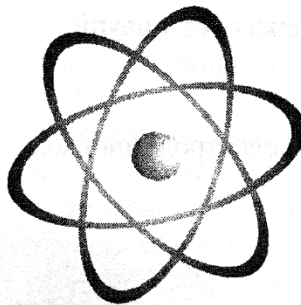
Подаємо короткий літопис журналу "Світ фізики", якому виповнилось десять років.

Пропозицію Галини Шопи створити науково-популярний журнал з фізики підтримали учителі фізики Львівського фізико-математичного ліцею. Під час обговорення було сформульовано концепцію видання, тематику, назви рубрик тощо.

До творення журналу охоче долучились також науковці. Першим серед них був фізик-теоретик, голова фізичної секції НТШ, професор Роман Гайда. Над організаційними питаннями та підготовкою матеріалів до першого числа журналу працювали Олександр Гальчинський, Ярослав Довгий, Роман Гайда, Йосип Стахіра, Галина Шопа. Стати головним редактором журналу запросили відомого фізика-теоретика, ректора Львівського державного університету імені Івана Франка Івана Вакарчука.

Засновниками журналу "Світ фізики" стали Львівський державний університет імені Івана Франка, Львівський фізико-математичний ліцей та СП "Євросвіт".

(продовження читайте в наступних числах журналу)



**Не забудьте
передплатити журнал
"Світ фізики"**

**Передплатний індекс
22577**

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

© СП „Євросвіт”

ЗМІСТ

1. Нові та маловідомі явища фізики

Айнштайн Альберт. Фізика і реальність. Принципи теоретичної фізики

3

2. Нобелівські лавреати

Шопа Галина, Гальчинський Олександр. Неоднорідності реліктового випромінювання

20

3. Олімпіади, турніри...

Умови задач XLIV Всеукраїнської олімпіади з фізики (Рівне, 2007)

23

4. У допомогу вчителю

Андронов Іван. Про безкоштовні комп'ютерні програми

28

5. Олімпіади, турніри...

Юні фізики в Сеулі

33

6. Фізика світу

Фізика об'єднує народи

35

7. Олімпіади, турніри...

Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (2007), 8–9 класи

36

8. Реальність і фантастика

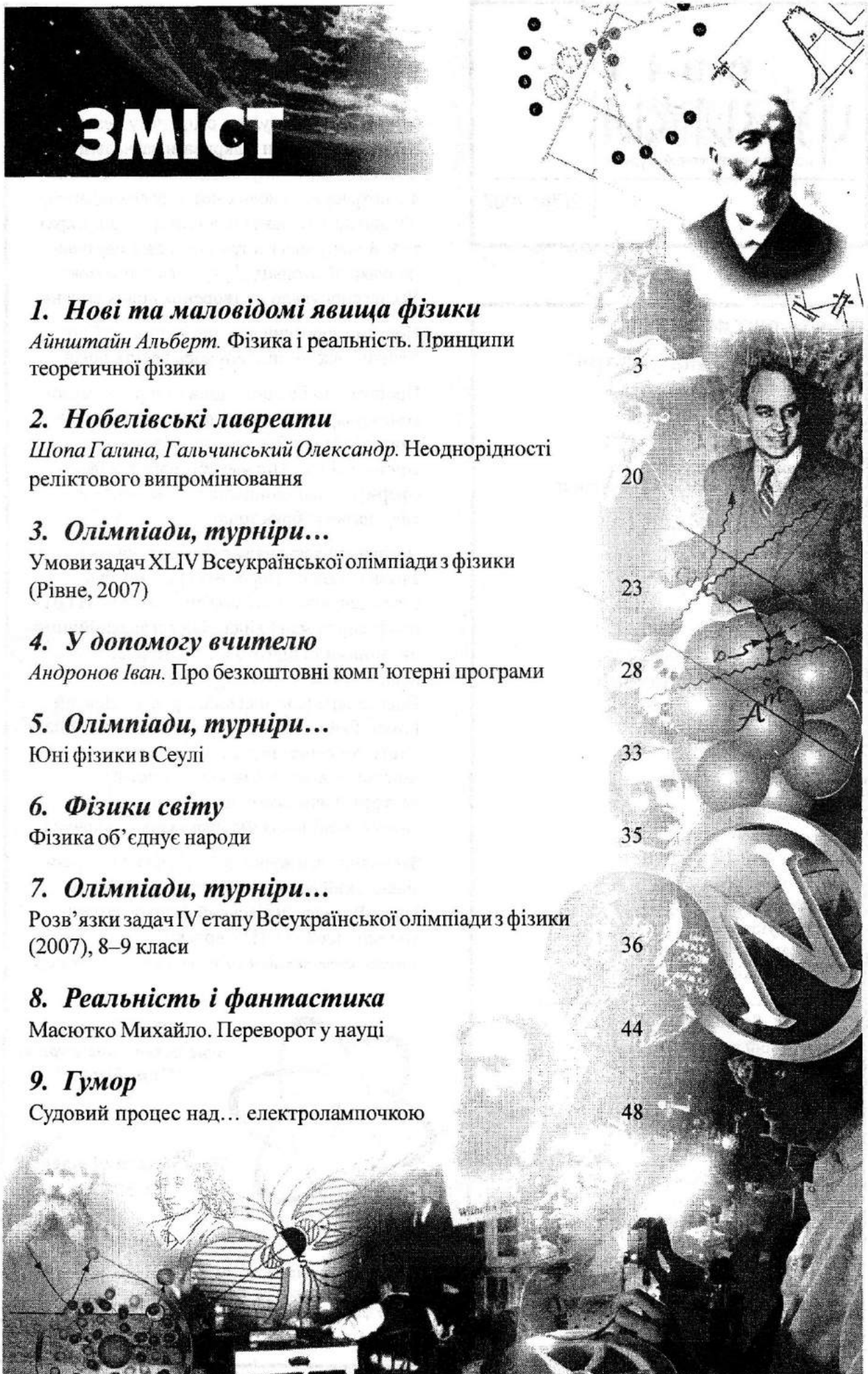
Масютко Михайло. Переворот у науці

44

9. Гумор

Судовий процес над... електролампочкою

48





Фізика і реальність.

Принципи теоретичної фізики

Альберт Айнштайн

Зробімо декілька загальних зауважень фізика-теоретика щодо експериментальної фізики. Один знайомий математик напівжартома недавно сказав мені: “Математик щось може, проте, зрозуміло, якраз не те, що від нього хочуть одержати саме тепер”. Часто подібно поводить фізик-теоретик, якого запросили дати пораду фізикові-експериментаторові. У чому ж причина такої характерної невідповідності?

Щоб застосувати свій метод, теоретик потребує деяких загальних припущень, так званих фундаментальних принципів, виходячи з яких він може зробити висновок. Його дослідження поділені на два етапи. По-перше, йому потрібно виявити ці принципи, по-друге – пояснити результати, які випливають із них. Щоб виконати друге завдання, він має ґрунтовну підготовку ще зі школи. Якщо для деякої ділянки, тобто сукупності взаємозалежностей, перше завдання розв’язане, то пояснення результатів не за горами. Зовсім інакше перше завдання, тобто встановлення принципів, на яких може ґрунтуватись дедукція. Тут не існує методу, який можна було б вивчити і систематично застосовувати, щоб досягнути мети. Дослідник мусить насамперед вивідати в природі принципи, що відображають загальні риси сукупності множин експериментально встановлених фактів.

Якщо таке формулювання вдалося, починається пошук висновків, які часто сягають далеко за межі тих фактів, з яких було одержано принципи. Але поки принципів не виявлено, окремі експериментальні факти теоретиків ні до чого, бо він не в стані нічого зробити з поодинокими емпірично встановленими закономірностями. Навпаки, він застигає в безпорадному стані перед поодинокими результатами емпіричного дослідження, поки не розкриються принципи, які він зможе зробити підґрунтям для дедуктивних побудов.

У подібному стані нині теорія теплового випромінювання і молекулярного руху за низьких температур. Років 15 тому не сумнівалися в тому, що, застосовуючи до молекулярного руху механіку Галілея-Ньютона і теорію електромагнетного поля Максвелла, можна правильно описати електричні, оптичні та теплові властивості тіл. М. Планк показав, щоб вивести закон теплового випромінювання, який узгоджується з експериментом, потрібно скористатися припущенням, яке несумісне з принципами класичної механіки. Цим припущенням Планк ввів у фізику поняття про кванти, яке сьогодні блискуче підтверджено.

Свою гіпотезою він відкинув класичну механіку до випадків, коли достатньо малі маси рухаються з достатньо малими швидкостями і достатньо великими пришвидшеннями. Отже, сьогодні ми можемо розглядати закони, які встановили Галілей і Ньютон, тільки як граничні. Але попри зусилля теоретиків, досі не вдалося замінити принципів механіки іншими, які б відповідали планківському законові теплового випромінювання і гіпотезі квантів. Хоча достовірно встановлено, що теплота зводиться до руху молекул, ми мусимо зізнатися, що перебуваємо щодо цього руху в тому ж стані, в якому до Ньютона були астрономи, вивчаючи рух планет.

Я тільки що вказав на сукупність фактів, для яких ще нема принципів для теоретичного розгляду. Утім можна також згадати випадок, коли чітко сформульовані принципи приводять до висновків, що повністю або майже повністю виходять за межі явищ, які доступні дослідженню. Щоб перевірити, чи відповідають у цьому випадку принципи теорії істині, знадобиться, можливо, багаторічна експериментальна дослідницька праця. Таким прикладом є теорія відносності.

Аналіз основних уявлень про простір і час показав, що закон сталості швидкості світла у ваку-



умі, який встановлено в оптиці рухомих тіл, зовсім не вимагає прийняти гіпотезу деякого нерухомого ефіру. Навпаки, потрібно побудувати загальну теорію, яка враховує ту обставину, що проведені на Землі дослідження нічого не можуть сказати про поступальний рух Землі. При цьому використовують принцип відносності, який стверджує: закони природи не змінюються, якщо від початкової (прийнятою за таку) системи координат перейти до іншої, що рухається відносно першої рівномірно поступально. Ця теорія одержала добрі експериментальні підтвердження і привела до спрощення теоретичного викладу сукупності фактів, які уже узгоджено один з одним.

Водночас, з теоретичного погляду, ця теорія не дає повного задоволення, тому що сформульований вище принцип відносності віддає перевагу рівномірному рухові. Якщо правильно, що з фізичного погляду, рівномірному рухові не можна приписувати абсолютного сенсу, то виникає запитання: Чи не можна поширити це твердження і на нерівномірні рухи? З'ясовується, якщо взяти за основу узагальнений принцип відносності, то можна досягти певного розвитку теорії відносності. Це приводить до загальної теорії тяжіння. Але поки нема експериментів, на яких можна було б перевірити обґрунтованість застосованого принципу.

Ми встановили, що індуктивна фізика ставить дедуктивній, а дедуктивна фізика – індуктивній, запитання, відповідь на які вимагає великих зусиль.

Принципи наукового дослідження

Храм науки – це багатогранна споруда. У ньому перебувають різні люди і привели їх туди різні духовні сили. Деякі люди займаються науковою діяльністю з гордим відчуттям своєї інтелектуальної переваги. Для них наука є тим відповідним спортом, який має їм дати повноту життя і задоволення честолюбства. Можна знайти в храмі й інших: вони приносять до храму в жертву продукти свого мозку лише в утилітарних цілях. Якби посланий Богом ангел прийшов і вигнав би із храму всіх людей, що належать до цих двох категорій, то храм був би катастрофічно спустілим, але в ньому залишилися б ще люди і минулого часу, і сьогодення. До них належить Планк, тому ми його любимо.

Я добре знаю, що ми тільки що з легким серцем вигнали багато людей, які будували велику, можливо, навіть найбільшу, частину науки. Щодо багатьох з них ухвалене рішення було б для нашого ангела гірким. Але одне здається мені безперечним: якби існували лише люди, подібні до вигнаних, храм не піднявся б, як не зміг би вирости ліс лише з рослин, що в'ються. Цих людей задовольняє, власне кажучи, будь-яка галузь людської діяльності: чи то вони інженери, військові, комерсанти або вчені. Це залежить від зовнішніх обставин.

Звернімо знову свій погляд на тих, хто має милість ангела. Більшість з них люди дивні, замкнуті, усамітнені. Попри ці загальні риси вони насправді більше відрізняються один від одного, ніж вигнані. Що привело їх до храму? Нелегко на це відповісти, і відповідь, безумовно, не буде однакою для всіх. Як і Шопенгауер, я насамперед думаю, що одна з найсильніших спонук, яка веде до мистецтва і науки, – це бажання відійти від буденного життя з його болісною жорстокістю і невтішною пусткою, відійти від кайданів вічнозмінних власних примх. Ця причина штовхає людей з тонкими душевними струнами від особистого буття в світ об'єктивного бачення і розуміння. Цю причину можна порівняти з тугою міщанина, якого чарівно манить його від галасливого і засміченого середовища до тих високогірних ландшафтів, де погляд далеко проникає крізь нерухоме чисте повітря, насолоджуючись спокійними контурами, які ніби призначені для вічності.

До цієї негативної причини додається позитивна. Людина прагне якимсь адекватним способом собі створити просту й зрозумілу картину світу. І це не лише, щоб подолати світ, в якому вона живе, а й для того, щоб спробувати замінити цей світ картиною, яку вона створила. Цим займаються художник, поет, філософ і природодослідник, кожен по-своєму. На цю картину та її творення людина переносить центр тяжіння свого духовного життя, щоб у ній знайти спокій і впевненість, яких не може знайти в дуже тісній запаморочливій круговерті власного життя.

Яке місце посідає картина світу фізиків-теоретиків серед усіх можливих таких картин? Завдяки використанню мови математики ця картина



задовольняє найвищі вимоги стосовно строгості й точності виразу взаємозалежностей. Зате фізик вимушений більше обмежувати свій предмет, задовольняючись зображенням найпростіших, доступних нашому досвідові, явищ, тоді як усі складні явища не можуть бути відтворені людським розумом із тією точністю і послідовністю, які потрібні фізиком-теоретиком. Але яку красу може мати охоплення такого невеликого зрізу природи, якщо найтонше і складне байдуже залишають осторонь? Чи заслуговує результат такого скромного заняття гордої назви – “картина світу”?

Я думаю, – так, бо загальні твердження, що є основою уявних побудов теоретичної фізики, претендують справджуватися для усіх подій, що відбуваються у природі. Суто логічною дедукцією з них можна було б вивести картину, тобто теорію всіх явищ природи, зокрема й життя, якщо цей процес дедукції не виходив би далеко за межі творчої можливості людського мислення. Отже, відмова від повноти фізичної картини світу не принципова.

Звідси випливає, що головний обов’язок фізиків – це пошук тих загальних елементарних законів, з яких через чисту дедукцію можна одержати картину світу. До цих законів веде не логічний шлях, а лише заснована на проникненні в суть досвіду інтуїція. За такої невизначеності методики можна вважати, що існує довільна кількість рівноцінних моделей теоретичної фізики. Така думка безумовно правильна. Утім історія довела, що з усіх придуманих побудов лише одна переважає. Ніхто з тих, хто справді заглиблювався в предмет, не стане заперечувати, що теоретична система майже однозначно визначається світом спостережень, хоча ніякий логічний шлях не веде від спостережень до основних принципів теорії. Суть його в тому, що Лейбніц вдало назвав “передбачуваною гармонією”. Саме в недостатньому врахуванні цієї обставини серйозно дорікають фізики деяким із тих, хто займається теорією пізнання. Мені здається, що в цьому причина полеміки, яка відбулася декілька років тому між Махом і Планком.

Гаряче бажання побачити цю передбачувану гармонію є джерелом наполегливості та невичерп-

ного терпіння, з якими, як ми бачимо, Планк віддався загальним проблемам науки, не дозволяючи собі відхилитися заради вдячної і легше досяжної мети. Я часто чув, що колеги приписували таку поведінку надзвичайній силі волі та дисципліні. Та мені видається, що вони не мають рації. Душевний стан, який сприяє такій праці, подібний до релігії або закоханості: щоденне старання виникає не з якогось наміру або програми, а з безпосередньої потреби.

Механіка й спроби побудувати на ній всю фізику

Важливою властивістю чуттєвого досвіду і загалом усього нашого досвіду є його послідовність у часі. Така послідовність приводить до витвореної уяви про суб’єктивний час, як деяку схему для впорядкування нашого досвіду. Як побачимо згодом, суб’єктивний час приводить пізніше, через поняття тілесного об’єкта і простору, до поняття об’єктивного часу.

Все ж поняттю об’єктивного часу передує поняття простору, а останньому – поняття тілесного об’єкта. Останнє безпосередньо пов’язане з комплексами чуттєвого сприйняття. Вже доведено, що характерна властивість поняття “тілесного об’єкта” в тому, що йому можна приписати існування, незалежно від часу (суб’єктивного) і від його сприйняття нашими відчуттями. Ми це робимо, хоч і спостерігаємо його зміну в часі. Пуанкаре правильно наполягав на тому, що ми розрізняємо двоякі зміни тілесного об’єкта: “зміни стану” і “зміни положення”. Останні, говорив він, можуть регулюватися довільним рухом нашого тіла.

Існування предметів, яким у певній сфері відчуттів не можна приписувати ніяких змін стану, а лише зміни положення, є фактом фундаментального значення для формування поняття простору (навіть для обґрунтування поняття тілесного об’єкта). Ми називатимемо такий предмет “майже твердим”.

Якщо як об’єкт відчуття розглядають одночасно, як ціле, два майже тверді тіла, то для цього ансамблю існують зміни, яких не можна вважати змінами положення ансамблю, хоча для кожного з



елементів вони такі. Це веде до поняття “зміни відносного положення” двох предметів, а також до поняття їхнього “відносного положення”. Ми вважаємо, втім, що серед відносних положень є одне особливе, яке ми називаємо “контактом”¹.

Постійний контакт двох тіл у трьох або більше “точках” означає, що вони сполучені в складне квазітверде тіло. Можна говорити, що друге тіло утворює тоді продовження (квазітверде) першого і може бути продовжено квазітвердо. Можливість квазітвердого продовження тіла не обмежена. Справжньою суттю уявного квазітвердого продовження тіла B є “простір”, який ним визначений.

Той факт, що кожен, будь-як розташований тілесний об’єкт, може мати контакт з квазітвердим продовженням відповідно вибраного тіла B_0 (тіла відліку), є, здається, емпіричною основою нашого поняття про простір. У донауковому мисленні роль B_0 та його продовження відіграла тверда поверхня Землі. Сама назва геометрії вказує, що поняття простору психологічно пов’язане із Землею як нерухомим тілом.

Сміливе поняття “простору”, передуючи всій науковій геометрії, перетворює наше уявне поняття співвідношення положень предметів на поняття про положення цих тілесних предметів у “просторі”. Це велике формальне спрощення. За допомогою поняття простору досягається, до речі, така ситуація, коли кожен опис положення розглядають як опис контакту; твердження: точка тілесного предмета розташована в деякій точці простору P означає, що предмет стосується точки P тіла відліку типу B_0 (припускають майже продовженим) у цій точці.

У грецькій геометрії простір відігравав лише якісну роль, тому що хоча положення тіла в просторі безумовно вважали заданим, але його не описували числами. Декарт перший увів цей метод. Його мовою весь зміст евклідової геометрії міг аксіоматично ґрунтуватися на таких твердженнях:

¹Це природно, що ми не можемо говорити про ці питання інакше, ніж за допомогою понять, які ми створили і які недоступні за визначенням. Проте важливо, щоб ми користувалися лише поняттями, відповідність яких нашому досвідові, очевидна.

1. Дві фіксовані точки твердого тіла визначають деяку відстань;

2. Кожній точці простору можна зіставити три числа x_1, x_2, x_3 так, що для кожної відстані $P' - P''$, крайні точки якої мають координати x_1', x_2', x_3' і x_1'', x_2'', x_3'' , вираз

$$s^2 = (x_1'' - x_1')^2 + (x_2'' - x_2')^2 + (x_3'' - x_3')^2,$$

який не залежить від положення цього тіла і положення всіх решти тіл. Число s (позитивне) означає довжину відрізка, або відстань між точками простору P' і P'' (які збігаються з точками P' і P'' прямої).

Формулювання навмисно вибрано таке, що воно зрозуміло виражає не лише логічний і аксіоматичний, а й емпіричний зміст евклідової геометрії. Правда, суто логічне (аксіоматичне) уявлення останньою володіє більшою простотою і зрозумілістю. Утім воно вимушене відмовитися від представлення зв’язку між ідеальною побудовою і чуттєвим сприйняттям, адже значення геометрії для фізики ґрунтується лише на цьому зв’язку. Фатальна помилка, що в основі евклідової геометрії і пов’язаного з нею поняття простору, лежала потреба мислення, зумовлена тим, що емпіричне підґрунтя, на яке спирається аксіоматична побудова евклідової геометрії, було забуто.

Наскільки можна говорити про існування в природі твердих тіл, настільки евклідову геометрію можна вважати фізичною наукою, користь якої має бути показана її застосуванням до чуттєвого сприйняття. Вона стосується сукупності законів, які мають справджуватися до відносних положень твердих тіл незалежно від часу. Ми бачимо, що фізичне поняття простору в тому вигляді, в якому воно застосовувалося спочатку в фізиці, також пов’язано з існуванням твердих тіл.

З погляду фізика, суттєве значення евклідової геометрії полягає в тому, що її закони не залежні від специфічної природи тіл, відносні положення яких вона вивчає. Її формальна простота характеризується властивостями однорідності та ізотропності простору.

Поняття простору, правда, корисне, але не доконечне для власне геометрії, тобто для формулювання правил, щодо відносних положень твердих тіл. Протилежно цьому, поняття об’єктивного часу, без якого неможливо формулювати основні



принципи класичної механіки, пов'язане з поняттям просторового континууму.

Введення місцевого об'єктивного часу містить у собі два незалежні один від одного твердження:

1. Введення місцевого об'єктивного часу, що пов'язує послідовність дослідів у часі з вказівками "годинника", тобто із замкнутою системою періодичних подій.

2. Введення поняття об'єктивного часу для подій у всьому просторі; тільки завдяки цьому поняттю ідея місцевого часу розширюється, стаючи ідеєю про час у фізиці.

Зауваження, щодо до твердження 1. Та обставина, що поняття періодичного процесу передує поняттю часу, коли з'ясовують походження та емпіричний зміст поняття часу, не є, з мого погляду, "логічною помилкою". Така концепція відповідає точно пріоритетові поняття твердого (або квазітвердого) тіла у трактуванні поняття простору.

Додаткове роз'яснення до твердження 2. Ілюзія, що панувала до появи теорії відносності з погляду досвіду одночасності просторово розділених подій, а, отже, сенс часу у фізиці, зрозумілий, походила від того, що в нашому повсякденному досвіді ми могли нехтувати часом поширення світла. Для такого міркування ми звикли нехтувати відмінністю між "одночасно побаченим" і "те, що одночасно наставало", внаслідок чого стирається межа між часом і місцевим часом.

Неточність, яку приписують з емпіричного погляду поняттю часу в класичній механіці, маскується аксіоматичною уявою простору і часу як суті, незалежно від наших відчуттів. Таке використання понять, коли їх розглядають незалежно від емпіричної основи, якій вони зобов'язані своїм існуванням, не завжди шкідливе в науці. Якщо вважати, що ці поняття, походження яких забуто, потрібні й непорушні супутники нашого мислення, то це буде помилкою, яка може стати серйозною небезпекою для прогресу науки.

Було щасливою випадковістю для розвитку механіки, а, отже, й для розвитку фізики загалом, що філософи минулого при емпіричній інтерпретації поняття об'єктивного часу не побачили того, що в ньому нема точності. Впевнені в реальній значущості побудови простору-часу, вони встано-

вили фундамент механіки, який ми схематично схарактеризуємо так:

1. Поняття матеріальної точки: тілесний об'єкт, який відносно свого положення і руху можна з достатньою точністю описати точкою з координатами x_1, x_2, x_3 . Опис його руху (відносно "простору" B_0) розглядом x_1, x_2, x_3 як функцій часу.

2. Закон інерції: зникнення компонент пришвидшення для матеріальної точки, достатньо віддаленою від усіх решти точок.

3. Закон руху (для матеріальної точки): сила дорівнює масі, помноженій на пришвидшення.

4. Закон сили (дія і протидія між матеріальними точками).

Тут 2 є не чим іншим, як важливим окремим випадком 3. Справжня теорія існує лише тоді, коли задано закони сили. Щоб система точок, які постійно взаємопов'язані, могла поводитися як матеріальна точка, сили мусять підкорятися насамперед законів рівності дії та протидії.

Ці фундаментальні закони разом із законом Ньютона для сили тяжіння утворюють основу механіки небесних тіл. У цій механіці Ньютона, на противагу зазначеним вище поняттям про простір, що походять від твердих тіл, простір B_0 входить під формою, яка містить нову ідею: вимоги 2 і 3 справджуються (при заданому законі сили) не для всього простору B_0 , а лише для деякого B_0 з близькими умовами руху (інерційної системи). Внаслідок цього координований простір придбав одну незалежну фізичну властивість, яка не містилася в понятті суто геометричного простору, – обставину, яка надала розуму Ньютона широкую тему для роздумів (дослід із відром)².

Класична механіка – тоді лише загальна схема. Вона стає теорією лише, коли явно вказати закон сили, що з таким успіхом зробив Ньютон для небесної механіки. Але щоб досягти найбільшої логічної простоти фундаменту, цей теоретичний метод не задовільний у тому сенсі, що закони

²Цей недолік теорії міг би бути усунений лише таким формулюванням механіки, що була б насправді всім. Це був один із кроків, які привели до загальної теорії відносності. Інший недолік, також усунений введенням загальної теорії відносності, полягав у тому, що механіка сама собою не дає підстави для рівності важкої та інертної мас матеріальної точки.



сили не можуть бути одержані логічними і точними міркуваннями, тому що апріорі їхній вибір значною мірою довільний. Навіть закон сили тяжіння Ньютона відрізняється від інших уявних законів сили лише своєю *результативністю*.

Хоча сьогодні ми, безумовно, знаємо, що класична механіка вже не може бути фундаментом для всієї фізики, вона завжди перебуває в центрі всього мислення у фізиці. Причина полягає в тому, що попри значний прогрес, досягнутий від часів Ньютона, ми ще не прийшли до нового фундаменту фізики, який дав би нам змогу бути впевненими, що сукупність досліджених явищ і частково увінчаних успіхом теоретичних систем, зможе бути з нього логічно виведена. Далі спробую описати, у чому ж проблема.

По-перше, ми маємо розуміти, до якої межі система класичної механіки здатна бути основою для всієї фізики. Оскільки тут ми займаємося лише основами фізики та її розвитком, ми залишаємо осторонь суто формальний прогрес механіки (рівняння Лагранжа, канонічні рівняння тощо). Одне зауваження варто зробити. Поняття “матеріальна точка” фундаментальне для механіки. Якщо тепер ми бажаємо одержати механіку твердого тіла, який не можна трактувати як матеріальну точку, – а, строго кажучи, всі “приймальні нашими відчуттями” тіла належать до цієї категорії, – то виникає запитання: як ми маємо уявити собі тіло, що складається з матеріальних точок, і які сили діють між ними? Якщо механіка претендує на повний опис тіла, то це запитання треба ставити.

Прагнення механіки вважати ці матеріальні точки і закони сил, що діють між ними, незмінними природно, бо зміни в часі перебувають поза межею механічного пояснення. Звідси видно, що класична механіка має вести до атомістичної структури матерії. І тепер ми встановлюємо з очевидністю як помиляються теоретики, які думають, що теорія індуктивно виводиться з експериментів. Навіть великий Ньютон не зміг уникнути цієї помилки (*Hypotheses non fingo* – “Гіпотез не вигадую”). Щоб не загубитися без використання такого способу мислення (атомістичного), наука спочатку вчинила так. Механіка системи визначена, якщо потенційна енергія системи задана як

функція її конфігурації. Тепер, якщо сили, що діють, такі, що вони забезпечують збереження певних властивостей порядку в конфігурації системи, то конфігурацію з достатньою точністю можна описати порівняно невеликою кількістю змінних; потенційну енергію враховують лише настільки, наскільки вона залежить від цих змінних (наприклад, опис конфігурації майже твердого тіла шістьма змінними).

Іншим способом доповнення механіки, при якому уникають врахування поділу матерії на “реальні” матеріальні точки, є механіка так званих суцільних середовищ. Ця механіка характеризується фіктивним допущенням, що щільність і швидкість матерії безперервно залежать від координат і часу, і що не задану явно частину взаємодії можна розглядати як силу, що діє на поверхню (сила тиску), яка, з іншого боку, безперервна функція положення. Сюди належить гідродинаміка і теорія пружності. Ці теорії уникають явного введення матеріальних точок і користуються фікціями, які в світлі основ класичної механіки можуть мати лише наближене значення.

Ці категорії науки мають велике практичне значення; до того ж, вони створили, завдяки поширенню їх ідей у світі математики, формальні допоміжні знаряддя (рівняння в частинних похідних), які потрібні для подальших спроб формулювання всіх аспектів фізики способом, що відрізняється від ньютонівського своєю новизною.

Ці два способи доповнення механіки належать до так званої “феноменологічної” фізики. Цей вид фізики характеризується застосуванням, наскільки це можливо, вельми близьких до експерименту понять; але саме внаслідок цього доводиться відмовлятися від єдності фундаменту. Теплоту, електрику, світло описують спеціальними функціями стану і константами речовини, відмінними від механічних. Визначення взаємної залежності всіх цих змінних було справою швидше емпіричною. Багато сучасників Максвелла бачили в такому уявленні мету фізики, яка, думали вони, може бути досягнута з експерименту суто індуктивним шляхом, на основі порівняльного тісного контакту використовуваних понять і досвіду. З погляду теорії пізнання близько до цієї позиції стояли Ст. Мілль і Е. Мах.



Здається, найбільший подвиг механіки Ньютона в тому, що її постійне застосування привело до виходу за межі феноменологічних уявлень, особливо в ділянці теплових явищ. Це відбулося в кінетичній теорії газів і, в загальнішому вигляді, у статистичній механіці. Перша об'єднала рівняння ідеальних газів, в'язкість, дифузію газів і встановила логічний зв'язок між явищами, які, з погляду прямого експерименту, не мали абсолютно нічого спільного.

Статистична механіка дала механічну інтерпретацію ідей і законів термодинаміки і відкрила межу застосувань її понять і законів у класичній теорії теплоти. Кінетична теорія, яка набагато обігнала феноменологічну фізику в тому, щодо логічної єдності своїх основ, крім того, дала для дійсних величин атомів і молекул деякі значення, які вийшли різними незалежними методами і були, так встановлені в ділянках, де їх не можна було брати під серйозний сумнів. Цих вирішальних успіхів було досягнуто завдяки узгодженню атомістичної суті з матеріальними точками, тобто суті, спекулятивний і конструктивний характер якої очевидний. Ніхто не може сподіватися коли-небудь "безпосередньо сприймати" атом. Закони, щодо змінних, безпосередньо пов'язані з експериментальними даними (наприклад, температури, тиску, швидкості), було виведено з основних ідей складними розрахунками. Отже, фізика (принаймні частина її), спочатку побудована феноменологічно, була зведена, будучи заснована на механіці Ньютона для атомів і молекул, до основи, значно віддаленішої від прямого експерименту, зате єдиного характеру.

Концепція поля

Для пояснення оптичних і електричних явищ механіка Ньютона була ще менше вдала. Правда, у своїй корпускулярній теорії світла Ньютон намагався звести світло до руху матеріальних точок. Проте згодом, коли явища поляризації, дифракції та інтерференції зумовлювали щораз неприродні зміни його теорії, хвильова теорія Гюйгенса витіснила її.

Ця теорія, очевидно, зобов'язана своїм виникненням явищам кристалографічної оптики і теорії звуку, вже достатньо розвинутої тоді. Потрібно

визнати, що теорія Гюйгенса також ґрунтувалася на класичній механіці. Але всепроникний ефір, який мали розглядати як носія хвиль, і його структура, утворена матеріальними точками, не пояснювала жодних із відомих явищ. Не можна було дати зрозумілої картини ні внутрішніх сил, що керують ефіром, ні сил, які діють між ефіром і "вагомою матерією". Внаслідок цього основи цієї теорії залишилися назавжди темними. Істинною основою теорії було рівняння в частинних похідних, зведення якого до механічних елементів надалі проблематичне.

До теоретичної концепції електричних і магнетних явищ були знову введені особливі маси, причому допускалося існування сил, які діють між ними на відстані, подібно до гравітаційних сил Ньютона. Цей особливий вид матерії здавався, проте, позбавленим фундаментальної властивості інерції, та сили, які діяли між цими масами і вагомою матерією, залишилися невідомими. До цих труднощів додавався ще полярний характер цих видів матерії, який ще не входив до схеми класичної механіки. Основа теорії стала ще менш задовільною, коли дізналися про електродинамічні явища, хоча ці явища дали змогу фізикам пояснити магнетні явища електродинамічними і зробили зайвим припущення про магнетні маси. Відплатою за цей успіх була потреба припущення щораз більшу складність сил взаємодії між електричними масами, що рухаються.

Теорія електричного поля Фарадея і Максвелла, завдяки якій вдалося вийти з цієї скрутною ситуації, є, очевидно, найглибшим перетворенням, якого від часу Ньютона зазнала фізика. Це був новий крок у напрямі конструктивної спекуляції, який збільшив відстань між фундаментом теорії і тим, що ми можемо відчутти нашими п'ятьма відчуттями. Існування поля ϵ , фактично, лише тоді, коли вводиться електрично заряджене тіло. Диференціальні рівняння Максвелла пов'язують просторові й часові диференціальні коефіцієнти електричного та магнетного полів. Електричні маси з'являються лише там, де дивергенція електричного поля не дорівнює нулеві. Світлові хвилі з'являються як хвильові процеси електромагнетного поля в просторі.

Очевидно, Максвелл ще намагався інтерпретувати свою теорію поля за допомогою механіки,



використовуючи модель ефіру. Але ці спроби поступово відступали і, звільнені від усіх непотрібних придатків, фігурують, за уявленнями Р. Герца, лише на другому плані, так що в цій теорії поле зайняло врешті-решт те головне положення, яке в механіці Ньютона займали матеріальні точки. Все ж на початку це було застосовно лише до електромагнетного поля у вакуумі.

У своїй початковій фазі теорія була ще абсолютно незадовільною для пояснення явищ усередині речовини, тому що тут потрібно було ввести два електричні вектори, пов'язані співвідношеннями, залежними від природи середовища і недоступні якому-небудь теоретичному аналізу. Для позбавлення цих труднощів Р. А. Лоренц знайшов спосіб, який одночасно вказував шлях до електродинамічної теорії тіл, що рухаються, вільної від будь-яких припущень.

Його теорія ґрунтувалась на таких основних гіпотезах. Усюди (і всередині важких тіл) місцезнаходження поля є порожній простір. Участь матерії в електромагнетних явищах зумовлена тим, що її елементарні частинки несуть незмінні електричні заряди і тому схильні дії сил, і, з іншого боку, мають властивість породжувати поле. Елементарні частинки підкоряються законові руху Ньютона для матеріальної точки.

Спіраючись саме на цю основу, Лоренц домігся синтезу механіки Ньютона і теорії поля Максвелла. Слабкість цієї теорії в тому, що вона намагається пояснити явища поєднанням рівнянь у частинних похідних (рівняння Максвелла для поля у вакуумі) і рівнянь у повних похідних (рівняння руху точки). Це неприродно. Недосконала теорія явно потребує припущення скінчених розмірів частинок і, до того ж, ухилитися від того, що електромагнетне поле на їхній поверхні стає нескінченно великим. Теорія була абсолютно нездатна пояснити величезні сили, які утримують електричні заряди на окремих частинках. Лоренц врахував ці слабкості теорії, які він чудово знав, щоб нарешті правильно пояснити явища хоча б у загальних рисах.

Утім він мав одне міркування, яке виходило за межі його теорії. Поблизу електрично зарядженого тіла є магнетне поле, яке робить внесок (видимий) в його інерцію. Чи можна пояснити за-

гальну інерцію частинок електромагнетним шляхом? Зрозуміло, що це завдання могло бути розв'язане позитивно, тільки якщо частинки інтерпретувати як регулярні розв'язки електромагнетних рівнянь у частинних похідних. Рівняння Максвелла в їх первинній формі не давали змоги зробити такий опис частинок, тому що відповідні розв'язки містили сингулярність. Тому фізики-теоретики тривалий час намагалися досягти мети, видозмінюючи рівняння Максвелла. Однак ці спроби були марні. Так трапалося, що в цей час мети – побудова суто польової електромагнетної теорії матерії – не було досягнуто, хоча ніяких заперечень не можна було дати проти принципової можливості досягнення такої мети. Новій спробі в цьому напрямі перешкоджало те, що не було якого-небудь систематичного методу, що веде до розв'язку. Проте мені здається достовірним, що в основі послідовної теорії поля, крім поняття поля, не має бути ніякого поняття, що стосується частинок. Уся теорія має ґрунтуватися лише на рівняннях у частинних похідних і їхніх розв'язках, вільних від сингулярностей.

Теорія відносності

Не існує ніякого індуктивного методу, який міг би вести до фундаментальних понять фізики. Не знаючи цієї обставини, багато дослідників XIX сторіччя стали жертвами серйозної філософської помилки. Очевидно з цієї причини молекулярна теорія і теорія Максвелла могли утвердитися лише трохи згодом. Логічне мислення вимушено дедуктивне, воно засноване на гіпотетичних уявленнях і аксіомах. Що можна очікувати, якщо останні вибрані саме так, щоб виправдати сподівання досягнути певного успіху?

Найзадовільніше положення, безумовно, досягається тоді, коли нові фундаментальні гіпотези навіяні самим експериментом. Складова основа термодинаміки гіпотеза про неможливість вічного руху дає приклад фундаментальної гіпотези, навіяної експериментом. Це ж правильно для принципу інерції Галілея. До цієї ж категорії належать, між іншим, фундаментальні гіпотези теорії відносності, яка привела до розвитку і несподіваного розширення теорії поля і заміни основ класичної механіки.



Успіхи теорії Максвелла-Лоренца вселили віру в істинність електромагнетних рівнянь для порожнього простору, а також, зокрема, у твердження, що світло поширюється в "просторі" з деякою постійною швидкістю c . Але чи закон інваріантності швидкості світла справедливий щодо будь-якої інерціальної системи? Якщо це не так, тоді одна особлива інерційна система, точніше, стану особливого руху (тіла відліку), відрізняється від усіх інших. Цій ідеї суперечать всі механічні та оптичні дані нашого експерименту.

Через ці міркування виникла потреба встановити закон постійності швидкості світла у всіх інерційних системах. Звідси випливає, що просторові координати x_1, x_2, x_3 і час x_4 мають видозмінитися згідно з "Перетвореннями Лоренца", які характеризуються інваріантністю виразу

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2,$$

якщо одиниця часу вибрана так, що швидкість світла $c = 1$.

Завдяки такому прийому час втратив свій абсолютний характер і його стали розглядати алгебраїчно подібно до просторових координат. Абсолютний характер часу, і зокрема одночасності, було спростовано, і чотиридимірний опис було введено як єдино адекватний.

Щоб врахувати еквівалентність усіх інерційних систем відносно усіх явищ природи, потрібно постулювати й інваріантність щодо перетворення Лоренца всіх систем фізичних рівнянь, що виражають загальні закони. Виконання цієї вимоги становить зміст спеціальної теорії відносності.

Ця теорія сумісна з рівняннями Максвелла, але вона не сумісна з основами класичної механіки. Правда, рівняння руху матеріальної точки (і разом з ними виразу для кількості руху і кінетичної енергії матеріальної точки) можуть бути видозмінені так, щоб задовольнити теорії. Але поняття сили взаємодії і разом з ним поняття потенційної енергії системи втратили свою основу, оскільки ці поняття ґрунтувалися на ідеї абсолютної одночасності. Поле, оскільки воно визначається диференціальними рівняннями, посіло місце сили.

Оскільки теорія, про яку йде мова, допускає взаємодію тільки між полями, стає неодмінною теорія гравітаційного поля. Справді, не важко

сформулювати теорію, в якій, як і в теорії Ньютона, гравітаційне поле може бути зведене до скаляра, що є розв'язком рівняння в частинних похідних. В усякому разі, експериментальні факти, виражені в теорії гравітації Ньютона, ведуть до іншого напрямку – загальної теорії відносності.

Незадовільним пунктом основ класичної механіки є дwoяка роль, яку відіграє одна й та ж постійна маса. Вона входить як "інертна маса" в закон руху і як "важка маса" в закон тяжіння. Завдяки цьому пришвидшення тіла в гравітаційному полі не залежить від матерії, що міститься в ньому; або в рівномірно-пришвидженій відносно "інерційної системи" системі координат рух відбувається так само, як відбувався б в однорідному гравітаційному полі відносно системи координат, що перебуває в стані спокою. Якщо припустити, що еквівалентність цих двох мас повна, то цим добиваємося пристосування нашої теоретичної думки до того факту, що важка та інертна маси тотожні. Звідси випливає, що немає ніяких доказів вважати перевагу "інерційних систем" фундаментальним принципом, і ми маємо припустити, що нелінійні перетворення координат x_1, x_2, x_3, x_4 теж з повним правом еквівалентні. Якщо провести таке перетворення системи координат спеціальної теорії відносності, то метрика

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$$

стає загальною (рімановою) метрикою Бана

$ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ (сумування по μ і ν), де $g_{\mu\nu}$ симетричні відносно μ і ν , є деякими функціями x_1, x_2, x_3, x_4 , які описують однаково добре і метричні властивості, і гравітаційне поле відносно нової системи координат.

Поступ у розумінні основ механіки, про який згадувалось, має, проте, як показує ретельніший аналіз, ту незручність, що нові координати не можуть бути інтерпретовані як результати вимірювань за допомогою твердих тіл і годинника, як це робилось у початковій системі (інерційна система зі зникаючим гравітаційним полем).

Перехід до загальної теорії відносності здійснюється за допомогою припущення, що це подання властивостей поля простору за допомогою функцій $g_{\mu\nu}$ (тобто ріманової метрики) обґрунтований і в загальному випадку, коли не існує систе-



ми координат, відносно якої метрика набуває простої квазіевклідової форми спеціальної теорії відносності.

Іншими словами, координати самі собою вже не виражають метричних співвідношень, а тільки "близькість" описаних предметів, координати яких мало відрізняються один від одного. Всі перетворення координат допустимі настільки, наскільки ці перетворення вільні від сингулярностей. Лише рівняння, що є коваріантними відносно довільних у цьому сенсі перетворень, мають сенс вирази загальних законів природи (постулат загальної коваріантності).

Першою метою загальної теорії відносності є попереднє формулювання, яке, нехтуючи вимогою, щоб воно само собою було закінчене, можна було, можливо, простіше пов'язати з "фактами, які безпосередньо спостерігають". Теорія гравітації Ньютона дала подібний приклад, обмежившись чистою механікою тяжіння. Це попереднє формулювання можна схарактеризувати так.

1. Поняття матеріальної точки та її маси зберігається. Формулюється закон її руху, що є перекладом закону інерції мовою загальної теорії відносності. Цей закон є системою рівнянь у повних похідних, що характеризує геодезичну лінію.

2. Замість ньютонівського закону гравітаційної взаємодії, ми знайдемо систему найпростіших загально-варіантних диференціальних рівнянь, яку можна встановити для тензора $g_{\mu\nu}$. Вона утворюється зведенням до нуля одноразово згорнутого тензора кривизни Рімана ($R_{\mu\nu} = 0$).

Це формулювання дає змогу розглядати проблему планет. Точніше кажучи, вона дає змогу розглядати проблему руху матеріальних точок з майже нехтуваною масою в полі тяжіння, утвореному матеріальною точкою, яку припускають такою, що не володіє ніяким рухом (центральна симетрія). Вона не враховує реакції матеріальних точок, які "рухаються" в гравітаційному полі, і не бере до уваги, як центральна маса утворює це поле.

Аналогія з класичною механікою показує, що теорію можна доповнити так:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -T_{\mu\nu},$$

де $R_{\mu\nu}$ – скаляр ріманової кривизни, $T_{\mu\nu}$ – тензор енергії матерії у феноменологічному уявленні. Ліва частина рівняння вибрана так, що її дивергенція тотожно дорівнює нулеві. Рівність нулеві, яка з цього випливає, дивергенції правої частини дає "рівняння" матерії у формі рівнянь у частинних похідних для випадку, коли $T_{\mu\nu}$ вводить для опису матерії лише чотири функції, абсолютно незалежних одна від одної (наприклад, щільність, тиск і компоненти швидкості, де між останніми існує тотожність, а між тиском і щільністю – рівняння умов).

За такого формулювання вся механіка тяжіння зведена до розв'язання однієї системи коваріантних рівнянь у частинних похідних. Ця теорія унікає всіх внутрішніх суперечностей, в яких ми дорікали класичній механіці. Вона достатня, наскільки ми знаємо, щоб виразити спостережувані факти небесної механіки. Але вона схожа на будівлю, одне крило якої зроблено з витонченого мармуру (ліва частина рівняння), а інше – з поганого дерева (права частина рівняння). Феноменологічне представлення матерії лише дуже недосконало замінює таке уявлення, яке відповідало б усім відомим властивостям матерії.

Неважко об'єднати теорію електромагнетного поля Максвела і теорію гравітаційного поля, якщо обмежуватися простором, вільним від матерії, що має масу, та електричних зарядів. Все, що треба зробити, – це взяти в другому члені поданого вище рівняння для $T_{\mu\nu}$ тензор енергії електромагнетного поля в порожньому просторі та приєднати до системи так змінених рівнянь рівняння поля Максвела для порожнього простору. За таких умов між всіма цими рівняннями існуватиме достатня кількість диференціальних тотожностей для забезпечення їхньої міцності. Можна додати, що ця потрібна формальна властивість всієї системи рівнянь залишає довільним вибір знака $T_{\mu\nu}$, що виявиться важливим надалі.

Результатом бажання досягти для фундаменту теорії найбільшого можливого ступеня єдності були різні спроби об'єднати гравітаційне та електромагнетне поля в єдину формальну та однорідну картину. Зішлімося, зокрема, на п'ятивимірну тео-



рію Калуза і Клейна. Розглянувши уважно що можливість, бачимо, що краще погодитися з відсутністю внутрішньої однорідності початкової теорії, оскільки я не думаю, що сукупність гіпотез, які становлять основу п'ятивимірної теорії, міститиме менше довільності, ніж початкова теорія. Таке ж зауваження можна зробити й щодо проективного різновиду теорії, яку дуже докладно розробили, зокрема, Данціг і Паулі.

Попередні міркування стосуються суто теорії поля, вільного від матерії. Як потрібно вчинити, виходячи з цього, щоб одержати повну теорію для матерії, що складається з атомів? У такій теорії сингулярності, безумовно, мають бути вилучені, тому що без такого вилучення диференціальні рівняння не визначають повністю загального поля. Тут, у загальній теорії відносності, ми зустрічаємося з тією ж проблемою теоретичного представлення поля, яка вперше з'явилася у зв'язку із суто максвелівською теорією.

Спроба побудови частинок, виходячи з теорії поля, очевидно, знов веде до сингулярностей. І тут була зроблена спроба виправити недолік шляхом введення нових змінних поля, переробивши і розширивши систему рівнянь поля. Водночас я разом із доктором Розеном, недавно виявив, що це просте поєднання рівнянь гравітаційного та електромагнетного полів дає центрально-симетричні розв'язки, які можна подати вільними від сингулярностей (добре відомі центрально-симетричні розв'язки Шварцшильда для гравітаційного поля і Рейснера для електричного поля з урахуванням його гравітаційної дії). Отже, маємо змогу одержати для матерії та її взаємодій суто польову теорію, позбавлену додаткових гіпотез – теорію, яку до того ж можна експериментально перевірити і яка має лише математичні труднощі, правда, дуже вагомі.

Теорія кванта і основи фізики

Фізики-теоретики нашого покоління чекають, що для фізики буде побудовано нову теоретичну основу, яка скористається фундаментальними уявленнями, що дуже відмінні від представлень теорії поля, яку ми розглядали досі. Підставою для цього є визнання потреби використовування нових методів дослідження під час математич-

ного представлення явищ, що одержали назву квантових.

Тоді як недоліки класичної механіки, виявлені теорією відносності, пов'язані з скінченною швидкістю світла (не допускається її нескінченність), на початку нашого століття було виявлено, що між висновками механіки і результатами дослідів існують інші суперечності, які пов'язані зі скінченим значенням (не допускається рівність нулеві) сталої Планка h . Зокрема молекулярна механіка вимагає, щоб теплосмність і густина монохроматичного випромінювання твердих тіл спадали пропорційно до зменшення їхньої абсолютної температури. Експеримент показав, що ці величини спадають непропорційно до абсолютної температури. Для теоретичного пояснення їхньої поведінки треба припускати, що енергія механічної системи може набувати не будь-яких, а лише певних дискретних значень, математичний вираз яких завжди залежить від сталої Планка h . До того ж, ця концепція була важливою для теорії атома (теорія Бора). Для переходу атомів з одного стану в інший – з випромінюванням або поглинанням і без них – не можна було вказати ніякого закону, окрім статистичного. До такого ж висновку дійшли і для радіоактивного розпаду атомів, який також тоді ретельно вивчали. Понад два десятиріччя фізики марно намагалися знайти єдину інтерпретацію цього "квантового характеру" певних явищ. Така спроба увінчалася успіхом понад 10 років тому шляхом використання двох абсолютно різних теоретичних методів. Одним із цих методів ми зобов'язані Гайзенбергові та Діракові, а іншим – Л. де Бройлеві та Шредингерові. Математичну еквівалентність обох методів незабаром довів Шредингер. Відтворимо хід думок Л. де Бройля і Шредингера, який ближчий до способу мислення фізиків, а тоді висловимо деякі міркування.

Спочатку поставмо запитання: як можна визначити для системи дискретний ряд значень енергії H_σ , яку визначають у значенні класичної механіки (енергія є заданою функцією координат q_r і відповідних імпульсів p_r)? Стала Планка h , пов'язує частоту H_σ/h із значеннями енергії H_σ . Отже, досить надати системі деякі дискретні значення частоти. Це нагадує нам, що в акустиці деякі дискретні значення частоти відповідають лі-



нійному рівнянню в частинних похідних (якщо граничні умови задані), тобто гармонійним розв'язкам. Аналогічним способом Шредингер поставив собі завдання зіставити задану функцію енергії $\varepsilon(q_r, p_r)$ і рівняння в частинних похідних для деякої скалярної функції ψ (q_r і t – незалежні змінні). Йому це вдалося (для комплексної функції ψ), оскільки теоретичні значення енергії H_σ , визначені статистичною теорією, справді впливають з періодичного розв'язку рівняння.

Очевидно, що було неможливо зіставити певному розв'язку $\psi(q_r, t)$ рівняння Шредингера певний рух матеріальних точок у механічному сенсі. Це означає, що функція ψ не визначає, принаймні точно, поведінки q_r від часу. Проте, за Борном, фізичне значення функцій ψ можна інтерпретувати так: $\psi^* \psi$ (квадрат абсолютного значення комплексної функції ψ) є густиною ймовірності конфігурацій q_r у момент часу t у точці конфігураційного простору. Отже, зміст рівняння Шредингера можна схарактеризувати, як таке, що легко можна зрозуміти, але не зовсім точно: воно визначає зміну в часі густини ймовірності статистичного ансамблю систем у просторі конфігурацій. Словом, рівняння Шредингера визначає зміну в часі функції ψ від q_r .

Треба зазначити, що результати цієї теорії містять результати механіки точки як граничні значення, коли довжина хвилі, з якою зустрічаються під час розв'язування задачі Шредингера, всюди така мала, що потенційна енергія змінюється майже нескінченно мало зі зміною порядку однієї довжини хвилі в конфігураційному просторі. Виберімо в конфігураційному просторі ділянку G_0 , велику щодо довжини хвилі, але малу порівняно з практичними розмірами конфігураційного простору. За цих умов можливо вибрати функцію ψ так, що для початкового моменту t_0 , вона зникає за межами ділянки G_0 і поводить, відповідно до рівняння Шредингера, так само, принаймні приблизно, і для подальшого часу, але щодо ділянки, яка до того часу t перейшла в іншу ділянку G . Тоді можна буде з певним ступенем наб-

лиження говорити про рух ділянки G загалом і замінити цей рух рухом точки в конфігураційному просторі. Цей рух збігається з потрібними рівняннями класичної механіки.

Досліди з інтерференції корпускулярного випромінювання дали блискуче підтвердження того, що передбачуваний теорією хвильовий характер явищ руху справді відповідає фактам. Крім того, теорії легко вдалося вивести статистичні закони переходу системи з одного квантового стану в інший під дією зовнішніх сил, що, з погляду класичної механіки, здавалося дивом. Зовнішні сили тут представлені невеликими, залежними від часу приростами потенційної енергії. Тоді як у класичній механіці такі прирости можуть зумовити лише відповідно малі зміни в системі, у квантовій механіці вони ж зумовлюють зміни будь-якої величини, але з відповідно малою вірогідністю. Цей висновок повністю відповідає експериментові. Теорія навіть дала змогу зрозуміти, принаймні в основних рисах, закони радіоактивного розпаду.

Очевидно, у минулому ніколи не була розвинута теорія, яка, подібно до квантової, дала б ключ до інтерпретації і до проведення розрахунків таких різноманітних явищ. Однак, я все ж думаю, що в наших пошуках єдиного фундаменту фізики ця теорія може привести нас до помилки: вона дає, здається, неповне уявлення про реальність, хоча і єдина, яку можна побудувати на підставі фундаментальних понять сили і матеріальних точок (квантові поправки до класичної механіки). Неповнота уявлення є результатом статистичної природи законів. Обґрунтуймо цю думку.

Я спочатку запитаю – до якого ступеня функція ψ_r описує реальний стан механічної системи? Припустімо, що ψ_r – періодичні розв'язки рівняння Шредингера (розташовані в порядку зростання значень енергії). Я залишаю поки осторонь питання про те, в якому ступені окремі ψ_r дають повний опис фізичних станів. Спочатку система перебуває в стані ψ_1 з якнайменшою енергією ε_1 . Далі впродовж кінцевого проміжку часу на систему діє невелика збурювальна сила. Для деякого подальшого моменту з рівняння Шредингера одержуємо функцію у вигляді:



$$\psi = \sum C_r \psi_r,$$

де C_r – постійні (комплексні). Якщо ψ_r “нормовані”, то C_1 дорівнює майже одиниці, C_2 й т. д. малі порівняно з одиницею. Можна тепер запитати: чи описує ψ справжній стан системи? Якщо відповідь позитивна, то єдине, що нам залишається, – це приписати³ цьому стану певну енергію E , а саме таку, яка трохи більша ніж E_1 (у всякому разі $E_1 < E < E_2$). Таке припущення суперечить дослідам Франка і Герца із зіткнення електронів, якщо ще врахувати дискретної природи електрики, яку довів Міллікен. Насправді, ці досліди приводять до висновку, що між двома квантовими значеннями не існує ніяких інших значень енергії. Звідси випливає, що наша функція ψ ніяк не описує однорідного стану системи, а радше є статистичним описом, за якого C_r виражає ймовірності окремих значень енергії. Відповідно, здається очевидним, що статистичне тлумачення квантової теорії, яке здійснив Борн, єдино можливе. Функція у жодному разі не описує стану, властивого тільки одній системі. Вона належить радше до декількох систем, тобто до “ансамблю систем”, у значенні статистичної механіки. Якщо, вилучивши деякі особливі випадки, функція дає тільки статистичні дані про вимірні величини, то причина не лише в тому, що операція вимірювання вносить невідомі елементи, які можна вловити лише статистично, а в самому факті, що функція ψ ні в якому значенні не описує стану однієї окремої системи.

Така інтерпретація усуває також парадокс, на який вказав недавно я та мої колеги, що стосується цієї проблеми.

Розгляньмо механічну систему, що складається з двох окремих систем A і B , які взаємодіють лише упродовж обмеженого часу. Нехай задана функція ψ до взаємодії. Тоді рівняння Шредингера дасть функцію ψ після взаємодії. Визначимо фізичний стан підсистеми A настільки повно, нас-

кільки це допускається вимірюваннями. Тоді квантова механіка дає нам змогу визначити функцію ψ для підсистеми B за виконаними вимірюваннями і функції ψ для всієї системи. Це визначення, проте, дає результат, який залежить від того, які визначальні величини, що характеризують стан A , було виміряно (наприклад, координати або імпульс). Оскільки після взаємодії для B може існувати лише один фізичний стан, який не можна собі уявити залежним від окремих вимірювань, які проведено над системою A , відокремленої від B , можна вважати, що функції ψ не можна однозначно зіставити з фізичним станом. Це зіставлення декількох функцій ψ з одним й тим самим фізичним станом системи B знову показує, що функцію не може інтерпретувати як опис (повний) фізичного стану однієї окремої системи. Тут також всі труднощі зникають, якщо функцію ψ зіставити з ансамблем систем⁴.

Той факт, що квантова механіка дає змогу так просто одержати висновки, що стосуються дискретних переходів (уявних) з одного загального стану в інший, не даючи фактичного уявлення про окремі процеси, пов’язані з іншим фактом, а саме, що теорія насправді оперує не окремою системою, а з ансамблем систем. Коефіцієнти C_r в нашому першому прикладі дуже мало змінюються під дією зовнішніх сил. Така інтерпретація квантової механіки дає змогу зрозуміти, чому ця теорія так легко пояснює здатність малих збудовальних сил зумовлювати зміни будь-якої величини у фізичному стані системи. Такі збудовальні сили зумовлюють фактично лише відповідні малі зміни статистичної густини ансамблю систем, а отже, нескінченно малі зміни функції ψ . Математичний вираз цих змін завдає набагато менше труднощів, ніж дає математичний вираз кінцевих змін, що зазнають окремі системи. Що відбувається в окремій системі, залишається за лаштунками, такий статистичний погляд вилучає з розгляду ці невідомі процеси.

³За теорією відносності енергія системи (у спокої) дорівнює її масі (як цілого). А остання мусить мати певне визначене значення.

⁴Операція вимірювання A , наприклад, також містить у собі перехід до обмеженішого ансамблю систем. Останній (а, отже, його функція ψ залежить від того, з якого погляду було проведено обмеження ансамблю систем.



Утім, тепер я запитаю: невже який-небудь фізик справді вірить, що нам не вдасться дізнатися що-небудь про важливі внутрішні зміни в окремих системах, про їхню структуру і причинові зв'язки? І це не зважаючи на можливості дослідження, які з'явилися завдяки камері Вільсона і лічильника Гейгера? Думати так логічно допустимо, але це настільки суперечить моему науковому інстинкту, що я не можу відмовитися від пошуків повнішої концепції.

До цього ми хотіли б додати деякі інші міркування, які також свідчать проти ідеї, що методи введені квантовою механікою здатні створити основу, придатну для всієї фізики. У рівнянні Шредингера абсолютний час і потенціальна енергія є вирішальними, тоді як теорія відносності ці два поняття визнає у принципі неприпустимими. Щоб уникнути цих труднощів, потрібно заснувати теорію на понятті поля і відповідних законах, а не на силах взаємодії. Це приводить до поширення статистичних методів квантової механіки на поля, тобто на системи з нескінченною кількістю ступенів вільності. Хоча у всіх зроблених до тепер спробах обмежувалися лінійними рівняннями, які, як ми знаємо із загальної теорії відносності, не достатні. Труднощі, що трапляються під час здійснення вже цих вельми дотепних спроб – надзвичайно великі. Вони безмежно зростають, якщо ми хочемо задовольнити вимогам загальної теорії відносності, правомірність якої ніхто не може заперечити.

Треба зазначити, звичайно, що введення просторово-часового континууму можна вважати неприродним, якщо мати на увазі молекулярну структуру всього, що відбувається в мікросвіті. Стверджують, що успіх методу Гайзенберга може бути застосовний до методу чисто алгебри опису природи, тобто вилученню з фізики безперервних функцій. Але тоді треба буде відмовитися від просторово-часового континууму. Можна вважати, що людська винахідливість врешті-решт знайде методи, які дають змогу йти цим шляхом. Але тепер така програма виглядає на спробу дихати в безповітряному просторі.

Немає сумніву, що в квантовій механіці є значний елемент істини, і що вона стане пробним каменем для будь-якої майбутньої теоретичної основи, з якої вона має бути виведена як окремий ви-

падок, подібно тому, як електростатика виводиться з рівнянь Максвелла для електромагнетного поля або термодинаміка з класичної механіки. Проте я не думаю, що квантова механіка є початковою точкою пошуків цієї основи, точно так, як і не можна, виходячи з термодинаміки (або, відповідно, із статистичної механіки), прийти до основ механіки.

Зважаючи на таке твердження, здається цілком виправданим серйозний розгляд питання про те, чи не можна як-небудь гармонізувати основу фізики поля з даними квантової теорії? Чи не є вона єдиною основою, яка, відповідно з сучасними можливостями математики, може бути адаптований до потреб загальної теорії відносності? Віра сучасних фізиків у досконалу безнадійність таких спроб криється в необґрунтованій думці, що в першому наближенні така теорія має привести до рівнянь класичної механіки для руху частинок або принаймні до звичайних диференціальних рівнянь. Фактично досі нам жодного разу не вдалося теоретично уявити частинки за допомогою полів, вільних від сингулярностей, і ми не можемо нічого напевно сказати з приводу поведінки таких полів. Проте одне достовірно: якщо теорії поля вдасться уявити частинки без сингулярностей, то поведінка цих частинок у часі однозначно визначатиметься диференціальними рівняннями поля.

Теорія відносності та частинки

Хочу показати, що, за загальною теорією відносності, існують вільні від сингулярностей розв'язки рівнянь поля, причому ці розв'язки можна інтерпретувати як частинки. Я обмежуюся випадком нейтральних частинок, оскільки разом із доктором Розеном у недавній праці докладно розглядав це питання, а також тому, що в цьому випадку можна повністю виявити суть проблеми.

Гравітаційне поле повністю описується тензором $g_{\mu\nu}$. У триіндексному символі $\Gamma_{\mu\nu\delta}$ також з'являються контрваріанти $g^{\mu\nu}$, які можна визначити як частки від ділення мінору $g_{\mu\nu}$ на детермінант $g = |g_{\alpha\beta}|$. Щоб $R_{\mu\nu}$ можна було остаточно визначити, недостатньо задати систему координат в околі будь-якої частини континууму так,



щоб $g_{\mu\nu}$ і їхні перші похідні були б неперервними і диференційованими. Потрібно також, щоб детермінант ніде не дорівнював нулеві. Це останнє обмеження все ж вилучається, якщо диференціальні рівняння $R_{\mu\nu} = 0$ замінити на $g^2 R_{\mu\nu} = 0$, ліві частини яких цілі раціональні функції $g_{\mu\nu}$ та їхніх похідних.

Ці рівняння мають центрально-симетричні розв'язки, вказані Шварцшильдом

$$ds^2 = \frac{1}{1 - \frac{2m}{r}} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta \cdot d\varphi^2) + \left(1 - \frac{2m}{r}\right) dt^2$$

Цей розв'язок має сингулярність за $r = 2m$, оскільки коефіцієнт за dr^2 (тобто g_{11}) стає нескінченним на цій гіперповерхні. Якщо замінити змінну r на ρ за формулою

$$\rho^2 = r - 2m,$$

одержимо:

$$ds^2 = -4(2m + \rho^2)d\rho^2 - (2m + \rho^2)^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta \cdot d\varphi^2) + \frac{\rho^2}{2m + \rho^2} dt^2$$

Це регулярний розв'язок за всіх значень ρ . Правда, зникнення коефіцієнта за $dt(g_{44})$ при $\rho = 0$ приводить до рівності нулеві детермінанта g за цього значення. Але за прийнятного методу запису рівнянь поля це не утворює сингулярності.

Якщо ρ змінюється від $-\infty$ до $+\infty$, r змінюється від $+\infty$ до $r = 2m$ і назад до $+\infty$, тоді як значенням $r < 2m$ не відповідають ніякі дійсні значення ρ . Звідси випливає, що розв'язок Шварцшильда стає регулярним, якщо представити фізичний простір, що складається з двох "оболонок", які граничать уздовж гіперповерхні $\rho = 0$, тобто $r = 2m$, тоді як на самій гіперповерхні детермінант дорівнює нулеві. Називатимемо такий зв'язок між двома оболонками (тотожними) "мостом". Отже, існування такого моста між двома оболонками в кінцевій ділянці відповідає існуванню

нейтральної матеріальної частинки, описаної способом, вільним від сингулярностей.

Розв'язання проблеми руху нейтральних частинок, очевидно, зводиться до знаходження розв'язків тих рівнянь гравітації (написаних без знаменників), які містять декілька мостів.

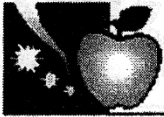
Ця концепція відповідає, априорі, атомістичній структурі матерії, оскільки мости за своєю природою дискретні. До того ж, ми бачимо, що константа маси m нейтральних частинок має бути істотно позитивна, оскільки від'ємним значенням m не може відповідати будь-який вільний від сингулярностей розв'язок Шварцшильда. Тільки дослідження проблеми багатьох мостів може показати, чи дає цей теоретичний метод пояснення емпірично встановленій рівності мас частинок у природі та чи враховує він усі факти, так чудово охоплені квантовою механікою.

Аналогічно можна показати, що комбіновані рівняння гравітації та електрики (за належного вибору знака електричних членів у рівняннях гравітації) дають вільне від сингулярностей мостове уявлення електричної частинці. Такий найпростіший розв'язок стосується електричної частинки, яка не має гравітаційної маси.

Доки не подолані значні математичні труднощі проблеми багатьох мостів, не можна нічого стверджувати про користь теорії з погляду фізика. Однак вона, поза сумнівом, є першою спробою послідовного розроблення польової теорії, що дає змогу пояснити властивості речовини. На користь цієї спроби говорить і та обставина, що вона заснована на релятивістських рівняннях поля, найпростіших з відомих сьогодні.

Висновки

Фізика – це логічна система мислення, що розвивається, основи якої можна одержати не виділенням їх якими-небудь індуктивними методами з проведених досліджень, а лише вільними міркуваннями. Обґрунтування (істинність) системи засновано на доведенні застосовності теорем, що впливають із неї, у ділянці чуттєвого досвіду, причому співвідношення між останніми і першими можна зрозуміти лише інтуїтивно. Еволюція відбувається у напрямі простоти логічних основ. Щоб наблизитися до цієї мети, ми маємо зважи-



тися визнати, що логічна основа щораз віддаляється від даних досвіду, і уявний шлях від основ до теорем, що впливають з них, і, які корелюють з експериментами, стає важчим і довшим.

Наша мета полягала в тому, щоб накреслити картину розвитку основних понять у їхньому зв'язку з експериментальними фактами і зусиллями досягти внутрішньої досконалості системи. Треба було також з'ясувати за допомогою цих міркувань сучасний стан речей так, як воно мені видається (схематичний історичний виклад неминуче має деяке особисте забарвлення).

Я прагнув показати, як пов'язані між собою і з природою експерименту поняття тілесного об'єкта, простору, суб'єктивного та об'єктивного часу. У класичній механіці поняття простору і часу незалежні один від одного. Поняття тілесного об'єкта замінювалося в самій основі поняттям матеріальної точки, завдяки чому механіка стала істотно атомістична. Світло та електрика спричинювали нездоланні труднощі, коли намагалися зробити механіку основою для всієї фізики. Це приводить до теорії електричного поля і до спроби заснувати всю фізику на понятті поля (після спроби компромісу з класичною механікою). Ця спроба веде до теорії відносності (перетворення понять простору і часу в континуум з метричною структурою).

Далі я прагнув, довести, чому, з мого погляду, квантова теорія не виглядає здатною дати фундамент, корисний для фізики. Спроби розглядати теоретичний квантовий опис як повний опис окремих фізичних систем або окремих подій приводять до суперечностей.

З іншого боку, теорія поля досі не в змозі дати пояснення молекулярної структури матерії та квантових явищ. Проте було показано, що переконання в нездатності теорії поля розв'язати своїми методами ці проблеми, ґрунтується на деякому упередженні.

Сучасний стан теорії відносності

Взаємопорозуміння між науковцями ускладнюється ще й тим, що вони розмовляють різними мовами. Потреба пізнання загальних зв'язків, які ми сприймаємо у вигляді символів, і які подають-

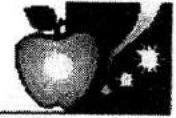
ся нам недосконалими відчуттями, згладжує ці труднощі. Ніколи ще прагнення до пізнання істини не було таким сильним, як нині, і поки воно існуватиме, можна дивитися в майбутнє з надією. Такий погляд допомагає пом'якшити страждання людства, а також важливе для подолання сучасного кризового періоду.

Раніше у фізичній науці існували єдині поняття. Нині їх поділяють на два, одне з яких належить квантовій теорії, друге – (релятивістській) теорії поля. Їх об'єднання бажане, але ще не досягнуте. Друга гілка могла б розвиватися на основі ідей Фарадея-Максвелла про заміну поняття маси поняттям електромагнетного поля. Ідею, що речовину можна розглядати як місця особливого згущення поля, здійснити поки не вдалося. Проте зберігається прагнення до того, щоб різноманіття явищ зводилося до суто теоретичної системи з якнайменшою кількістю елементів.

Так виникли спеціальна теорія відносності та загальна теорія відносності. Задача останньої полягає в однозначному описі руху точки у просторі та часі без використання допоміжного поняття відхилювальної сили. Треба знайти систему координат, у якій рух точки виглядає прямолінійним і рівномірним. Це уявляється дещо нелогічним. Мах виразно розумів це і шукав формулювання, що описує рух без посилання на систему координат. Теорія відносності не вилучає системи координат, але вибирає одну, відповідну умовам, і намагається знайти закони руху, незалежні від вибору системи координат.

Без введення Фарадеєм і Максвеллом поняття електромагнетного поля теорія відносності була б неможлива. Це поняття веде до поняття гравітаційного поля, яке пояснює явища тяжіння, але охоплює електромагнетні явища. Правда, хоча їх і вдалося вмістити в межі теорії відносності, але в архітектурній побудові теорії не було логічної єдності.

Якщо уявити, що можливо одержати простіші математичні формулювання, що речовина у Всесвіті розподіляється усюди рівномірно з деякою середньою густиною, можна вважати, що вона міститься усередині великої кулі, кількість речовини в якій пропорційна третьому ступеневі радіуса, а поверхня – другому ступеневі радіуса.



У центрі кулі напруженість гравітаційного поля дорівнює нулеві, але зростає уздовж радіуса до зовнішньої поверхні пропорційно до радіуса кулі. Отже, гравітаційне поле ззовні щораз посилюється. Проте такий світ не міг би існувати, якщо зберігається закон тяжіння Ньютона. Цю складність можна подолати, додаючи у формули новий член. Із рівнянь випливає, що простір має бути неевклідовим, але сферичним. Між радіусом цього сферичного світу і середньою густиною існує деяке співвідношення. Що менша густина маси, то більший радіус. Знаючи середню масову густину, можна було б визначити і розміри світу.

Астрономія свідчить: що далі від нас перебувають небесні світила, то менша їхня яскравість; що вони рухаються від нас швидше, якщо вони далі розташовані. Це підтверджується зсувом спектральних ліній порівняно з їхнім положенням у спектрі, який одержують на Землі. Відкриття і спектроскопічне вивчення позагалактичної туманності астрономами обсерваторії Маунт-Вільсон підтвердило це припущення. Це привело російського математика Л. Фрідмана до думки, що видима матерія перебуває у стані розширення. Спостереження де Сіттера та інших показали, що цей рух розширення цілком ймовірний. Тепер напрошується думка – чи не можна пояснити його, застосовуючи старе рівняння гравітації без додавання яких-небудь нових членів? З'ясувалось, що тоді можна відразу обчислити розширення, припускаючи, що зсув спектральних ліній справді відповідає рухові небесного тіла.

Значення радіуса світу по порядку величини обчислюється сотнями мільйонів світлових років. Цей порядок величини майже відповідає значенням, доступними нам інструментами, а середня густина зображається дробом у чисельнику якої стоїть одиниця, а в знаменнику – одиниця з 26 або 27 нулями. Якщо світ розширюється, то його об'єм мав би початися з нуля. Проте це здається неможливим. Для досягнення сучасної величини тоді було б потрібно від одного до десяти мільярдів років. Вік Землі, визначений за радієвим методом, становить майже 800 мільйонів років.

Спроби знайти єдині закони матерії, створити теорію поля і квантову теорію не припинялися. Йдеться про те, щоб знайти структуру простору, що задовольняє умовам, які висували обидві теорії. Результатом виявився цвинтар похованих надій. Від 1928 року я також намагався знайти розв'язок, але знову відмовився від цього шляху. На противагу цьому вдалася побудова теорії на основі ідеї, висунутої моїм співпрацівником, професором Майером. Уже десять років тому один француз висунув цікаву думку – розглядати світ як п'ятивимірний простір, за допомогою якої можна ввести співвідношення між гіпотетичним п'ятивимірним простором і чотиривимірним простором. Отже, вдалося охопити логічною єдністю і гравітаційне та електромагнетне поля.

Однак сподівання не збулися. Я думаю, якщо б вдалося знайти цей закон, то вийшла б теорія, яку можна застосувати до квантів і матерії. Але це не так. Побудована теорія, напевно, розбивається об проблему матерії і квантів. Між обома ідеями ще прірва.

Із книжки А. Ейнштейн. Собрание научных трудов. Том 4. – М.: Наука, 1967. – 600 с.

Телетайпним рядком

Указом Президента України Віктора Ющенка № 273/2007 в Україні засновано почесне звання “Народного вчителя України”. Це звання – найвищий ступінь відповідного почесного звання “Заслужений учитель України”. Його присвоюватимуть “учителям, викладачам та іншим педагогічним працівникам навчальних закладів системи загальної середньої освіти усіх типів за видатні досягнення в навчанні та вихованні учнівської й студентської молоді, які сприяли важливому зростанню інтелектуального, культурного, духовно-морального потенціалу українського суспільства й одержали широке суспільне визнання”.



Шведська академія наук нагородила Нобелівською премією з фізики 2006 року двох американських фізиків Джона С. Мезера (John C. Mather) із Годдардського центра космічних польотів НАСА і професора Каліфорнійського університету Джорджа Ф. Смута (George F. Smoot) за відкриття неоднорідності реліктового випромінювання і відповідності між його спектром і спектром абсолютно чорного тіла.

НОБЕЛІВСЬКІ ЛАВРЕАТИ

2006

Неоднорідності реліктового випромінювання

Галина Шопа,
Олександр Гальчинський

“Результат досліджень Джона Мезера і Джорджа Смута – це найважливіше відкриття сторіччя, якщо не всіх часів”, – сказав всесвітньо відомий фізик-теоретик Стівен Гокінг.

Джордж Смут народився 20 лютого 1945 року в м. Юконі (штат Флорида, США). Він був старшим сином у сім’ї. Його батько був геологом, а мати була вчителькою, а згодом директором школи. Сім’я часто переїжджала, оскільки батько змінював місце праці. Саме батьки привили Джоржеві зацікавлення до науки. Він багато читав, особливо любив наукову фантастику й науково-популярні книжки. Хлопець у школі захоплювався футболом, та понад усе його вабила наука.

Вступивши до Массачусетського технологічного інституту, Дж. Смут захоплено вивчав математику і фізику. Його цікавила фізика елементарних частинок. І це стало темою його наукових досліджень, коли він готував магістерську працю. Магістерський ступінь він здобув 1966 року.



Джон С. Мезер



Джордж Ф. Смут

Дж. Смут продовжив дослідження, працюючи вже над докторською дисертацією, яку захистив 1970 року в Массачусетському технологічному інституті. Якраз тоді інтенсивно розвивалась фізика елементарних частинок, і багато дослідників працювало саме у цій галузі. Смут, бажаючи уникнути зайвої конкуренції, продовжив дослідження в галузі космології, де працювало менше дослідників. Перехід до космологічних досліджень був для науковця природним, оскільки, досліджуючи “частинки та космос, ви можете більше дізнатись про природу Всесвіту та його походження”, – згодом писав Дж. Смут.

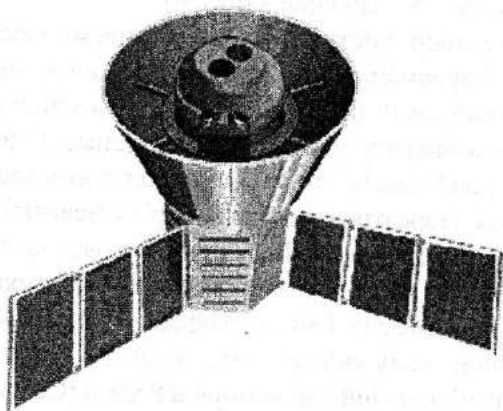
Дж. Смут 1970 року залишив Массачусетський технологічний інститут і перейшов працювати до Каліфорнійського університету в Берклі. Саме тоді в лабораторії фізики елементарних частинок працював Нобелівський лавреат з фізики (1968) Луїс Альварес. У цій лабораторії проводили дослідження, щоб знайти докази Великого вибуху та пояснити причину утворення Всесвіту. Гіпотезу про створення Всесвіту завдяки Великому вибуху запропонував бельгійський священик і астроном Джордж-Генрі Леметр ще 1929 року. Цю теорію нещадно критикували, однак науковці прийняли її аж 1964 року, коли Арно Пензіас і Роберт



Вільсон відкрили реліктове випромінювання, яке спостерігали як шум у радіотелескопах, який не можна було усунути. Теоретично реліктове випромінювання було передбачено ще в 1940-х роках Дж. Гамовим, Г. Альфвером і Германом, і це стало вагомим аргументом на користь гіпотези Великого вибуху.

За цією теорією майже 20 мільярдів років тому був сформований Всесвіт внаслідок Великого вибуху. Після вибуху субатомні частинки почали відділятися від енергії і врешті решт сформувались протони, нейтрони, і електрони, але впродовж перших 300 000 років температура була зависока для утворення атомів. Випромінювання, яке наповнило Всесвіт, не могло поширюватись через його поглинання вільними електронами, тому Всесвіт був непрозорий. За 300 000 років температури, Всесвіт охолодився, й електрони приєдналися до ядер. Від того часу Всесвіт став видимим. Випромінювання, яке наповнювало Всесвіт у той час, ще наповнює Всесвіт у вигляді космічного хвильового фону (реліктове випромінювання), але його температура впала з 3000 К до майже 3 К.

На початку 1971 року Дж. Смут очолив дослідницький колектив, який запуслав аеростати для дослідження космічного випромінювання на великій висоті подалі від джерел земних перешкод у Палестині, Техасі, Абердіні, Південній Дакоті.



Супутник КОБЕ для дослідження космічного реліктового випромінювання

Один із польотів цих аеростатів Американським інститутом фізики було визнано 1973 року як один із дванадцяти найвидатніших експериментів з фізики у світі того року.

Прочитавши книжку Джеймса Пібблза "Фізична космологія", Дж. Смут зрозумів, що дослідження космічного фону могли б дати відповідь на запитання, чи Всесвіт обертається, чи розширюється.

Щоб реалізувати свою ідею, Дж. Смут, за підтримки Л. Альвареса і допомоги НАСА, 1976 року використовував диференціальний мікрохвильовий радіометр (DMR) на висотному літаку U-2 для дослідження космічного випромінювання на великій висоті. Дослідження показали, що Всесвіт обертається і ймовірно розширюється із однаковою швидкістю у всіх напрямках.

Американське космічне агентство НАСА 1974 року оголосило про плани проведення позаатмосферних досліджень на супутниках. Величезний колектив працював над проектом вивчення реліктового випромінювання.

Поряд із експериментами на аеростатах і на літаках U-2, від 1974 року Смут працював над проектом супутника, для складання карти космічного випромінювання. Із понад 120 проєктів, поданих до НАСА, було відібрано групу, яку очолював Смут, і ще дві інші, що були зацікавлені в дослідженні реліктового фону. Їх об'єднали в одну, яку назвали КОБЕ (COBE, the Cosmic Background Explorer satellite).

Цей науковий колектив, що налічував понад тисячу осіб, очолили працівник НАСА Джон Мезер і професор Каліфорнійського університету в Берклі Г. Смут.

Джон С. Мезер народився 1946 року в сім'ї фермера в Нью Джерсі (США). Він одержав ступінь бакалавра з фізики в Сварсморському коледжі в Пенсильванії, здавши іспити з найвищими оцінками. Докторську дисертацію Дж. Мезер захистив 1974 року в Каліфорнійському університеті в Берклі.

Мезер розпочав свою наукову кар'єру в Годдардському інституті космічних польотів НАСА Американської національної академії наук.

Тоді Дж. Смут суміщав роботу в Берклі, де він експериментував за допомогою аеростатів і літаків U-2, і Центрі космічних польотів Годдард



НАСА, в Грінбелті (штат Меріленд). Щоб переконати керівництво НАСА у доцільності проводити такі дослідження, науковці витратили шість років. Національна аерокосмічна агенція прийняла пропозицію науковців, і на 1988 рік запланувала виведення спеціального супутника КОБЕ за допомогою космічного “шатла”.

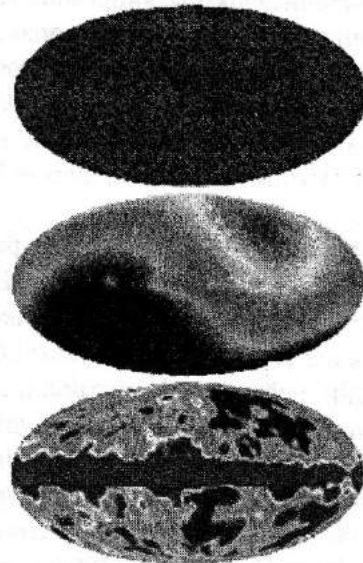
А коли 28 січня 1986 року сталася катастрофа “Челенджера”, в американській космічній програмі була значна перерва. Дванадцять років праці могли бути марними, коли стало очевидним, що для проєкту КОБЕ не знайшлося місця у майбутніх місіях “шатлів”. Відтермінування польотів на невизначений термін спонукало керівництво КОБЕ розглядати можливість запуску апарата за допомогою французької ракети. Не бажаючи долучати до одного із найважливіших американських наукових проєктів французьких науковців, НАСА призначив запуск супутника КОБЕ 1989 року на малій ракеті Дельта, що вимагало значного зменшення ваги та розмірів супутника. На розв’язання цього завдання науковий колектив мав менше трьох років.

Науковці створили супутник діаметром 2,5 м, завдовжки 5,5 м і масою майже 2,5 тонн. Супутник КОБЕ було запущено з військової авіабази Ванденберг у Каліфорнії 18 листопада 1989 року. Його вивели на орбіту висотою 900 км. Два детектори, які встановили на супутнику, охолоджували зрідженим гелієм до температури 2 К, реєстрували реліктове випромінювання з боку зір і галактик.

За одержаними результатами вимірювань реліктового випромінювання науковці підтвердили свою гіпотезу про його неоднорідність. У жовтні 1991 року вже можна було оприлюднювати результати, однак Дж. Смут ще хотів перевірити одне можливе джерело помилок: спотворення від радіоперешкод з нашої галактики.

Упродовж трьох місяців, коли Смут “працював сім днів на тиждень, часто навіть уночі, постійно, перебуваючи між Берклі та Грінбелтом”, він не відволікався ні на що, пробував переконатися, що вони не помилилися.

Після цих місяців інтенсивної роботи, науковий колектив підготував матеріали для публікації в Астрофізичному журналі та доповідь, яку виголосив 23 квітня 1992 року на засіданні Аме-



Кутовий розподіл реліктового випромінювання у галактичних координатах. Зверху вниз зображено ізотропну частину випромінювання, його дипольна та квадрупольна анізотропія. Фон від Чумацького шляху, який не відповідає спектрові реліктового випромінювання, зображено на нижньому малюнку горизонтальною смугою

риканського фізичного товариства у Вашингтоні (округ Колумбія, США). Представляючи результати досліджень Дж. Смут, сказав: “Це як для віруючої людини побачити обличчя Бога”. Відтоді цю фразу часто цитують.

Рідко буває, щоб наукове відкриття було так швидко і вчасно визнано. Вже наступного дня газети усього світу рясніли, наприклад, такими заголовками: “Як зародився Всесвіт”.

Неоднорідність реліктового випромінювання несе інформацію про стан Всесвіту після Великого вибуху. Реліктове випромінювання виникло, коли температура Всесвіту була майже 3 тисячі градусів Цельсія. І тоді, як підтверджують дослідження лавреатів, розподіл матерії у Всесвіті вже був неоднорідним. У Всесвіті утворювались згустки матерії, з яких згодом виникли галактики.

Нині Джордж Смут – професор фізики в Каліфорнійському університеті, працює в Лоуренсовій національній лабораторії в Берклі (США).

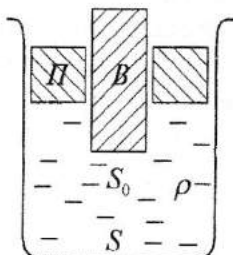
Джон Мезер продовжує працювати у відділі астрофізики Годдардського центру космічних польотів НАСА в Грінбелді.

Умови задач XLIV Всеукраїнської олімпіади з фізики Рівне, 2007 р.

8-й клас

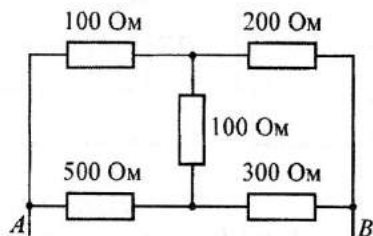
Задача 1.

У системі (рис. 1) поршень П і рухома втулка В, яка вставлена в отвір у поршні, перебувають у рівновазі з рідиною густини ρ . Тертя між ковзними поверхнями відсутнє, зазори рідину не пропускають. На поверхню втулки помістили важок маси m_0 . Наскільки зміститься втулка відносно початкового положення? Площа поперечного перерізу посудини S , площа отвору S_0 .



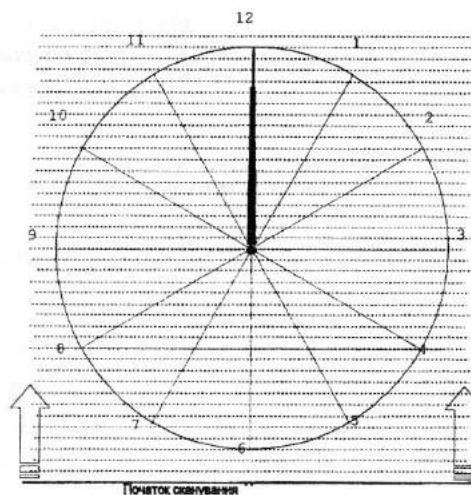
Задача 2.

Який з резисторів у схемі (рис. 2) слід замкнути накоротко, щоб опір між точками А та В став мінімальним?



Задача 3.

На сканер, циферблатом донизу, поклали настінний годинник із секундною стрілкою. Сканування почалося рівно опівдні, причому секундна стрілка також вказувала на 12 (рис. 3). Побудуйте схе-



матичне зображення положення секундної стрілки, яке дасть сканер. Довжина тонкої частини секундної стрілки від вістря до осі обертання 9 см, швидкість сканування 3 мм/с. Відстань між пунктирними лініями на рис. 3 становить 5 мм.

Задача 4.

Два однакових калориметри мають температуру $t_K = 20^\circ\text{C}$. У перший з них налили $m = 50\text{ г}$ води з температурою $t_B = 50^\circ\text{C}$. Коли встановилася теплова рівновага, половину води перелили в другий калориметр. Коли в ньому встановилася теплова рівновага, його температура стала $t_B = 25^\circ\text{C}$. Визначте теплоємність калориметра. Питома теплоємність води дорівнює $c_B = 4200\text{ Дж/(кг }^\circ\text{C)}$.

Задача 5.

Із пункту А спочатку виїхав велосипедист, а за деякий час слідом за ним – автомобіліст. Кожен рухається зі сталою швидкістю, тому обидва знали місце й час зустрічі. В дорозі автомобіліст зробив непередбачену технічну зупинку, після чого визначив, що зустріч відбудеться на 0,75 год.

пізніше. Непередбачену зупинку зробив і велосипедист та, не знаючи про зупинку автомобіліста, визначив, що його доженуть на 45 км ближче. Справжня зустріч показала, що в своїх обчисленнях автомобіліст помилився на 0,5 год., а велосипедист – на 30 км. Якими були швидкості автомобіліста та велосипедиста?

Задачі запропонували:

*С. Гончаренко (1–2), О. Орлянський (3),
І. Анісімов (4), А. Федоренко (5)*

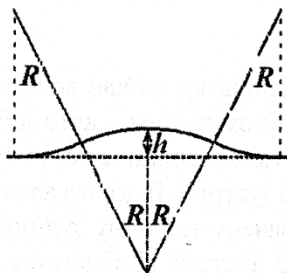
9-й клас

Задача 1.

Два однакових калориметри мають температуру 20°C . У перший з них налили 50 г води з температурою 50°C . Коли встановилася теплова рівновага, половину води перелили в другий калориметр. Коли в ньому встановилася теплова рівновага, його температура стала 25°C . Знайдіть теплоємність кожного з калориметрів. Як зміниться результат, якщо взяти до уваги теплообмін із довколишнім середовищем? Питома теплоємність води $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг К})$.

Задача 2.

Під час формування потягу на залізничній станції двадцяти зчепленим порожнім вагонам надали швидкість v_0 уздовж горизонтальної колії в напрямку гірки висотою $h = 80 \text{ см}$. Гірка має форму чотирьох однакових дуг кіл радіусами $R = 2 \text{ км}$ кожне (рис. 1). Визначіть, за якої найменшої швидкості v_{\min} вагони переїдуть гірку. Чому дорівнюватиме сила натягу міжвагонних зчеплень під час проходження найвищої точки? Довжина одного вагона 16 м, маса 25 т. Силами опору та тертям знехтуйте.



Задача 3.

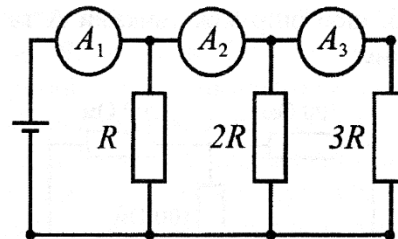
Автобус має три плоскі дзеркала заднього огляду: два зовнішніх і одне всередині салону. Площини зовнішніх дзеркал розташовані під кутами 60 та 75° до напрямку руху автобуса. Яке з цих двох дзеркал знаходиться ближче до водія? Під яким кутом до напрямку руху розташована площина внутрішнього дзеркала? Вважайте, що середини усіх дзеркал лежать на прямій на рівні очей водія. Автобус зі швидкістю 30 км/год проїжджає повз пішохода, що йде в тому ж напрямку зі швидкістю 3 км/год . За півхвилини водій, не зменшуючи швидкості, починає повертати вздовж дуги радіуса 50 м . Знайдіть швидкість зображення пішохода у дзеркалі заднього огляду автобуса безпосередньо перед поворотом та на самому його початку.

Задача 4.

Закрита та повністю заповнена водою циліндрична посудина радіусу R обертається з кутовою швидкістю ω навколо своєї осі, яка вертикальна. У ній знаходиться сталевая кулька радіусу $r \ll R$. Знайдіть силу, з якою кулька діє на бічну стінку посудини. Густина води і сталі дорівнюють відповідно ρ_1 та ρ_2 . Вода та кулька нерухомі щодо посудини.

Задача 5.

В електричному колі (рис. 2) всі амперметри однакові. Перший амперметр показує 10 мА , третій – 1 мА . Які покази другого амперметра?



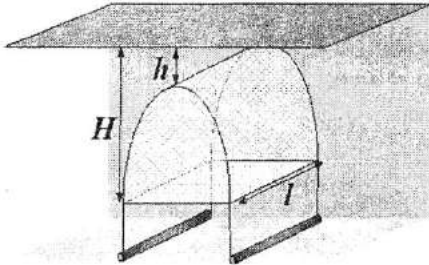
Задачі запропонували:

*І. Анісімов (1), О. Орлянський (2–3),
В. Лягзо (4), С. Гончаренко (5)*

10-й клас

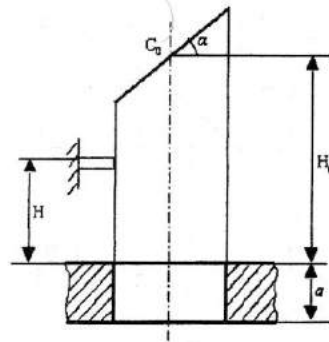
Задача 1.

На рисунку схематично зображено найпростіший варіант підводного приміщення, заповненого повітрям, у якому прозора плівка піднімається від дна вертикально догори. Відстань між двома поверхнями води $H = 3,5$ м, $h = 1$ м, $l = 16$ м. Визначіть тиск у підводному приміщенні, сили, з якими плівку утримують донні кріплення, та об'єм повітря, який захопив насос із поверхні води під час нагнітання. Уявіть, що Ви стоїте посередині приміщення, і якраз над Вашою головою пропливає невелике кільце. Як зміниться його форма, якщо подивитися догори?



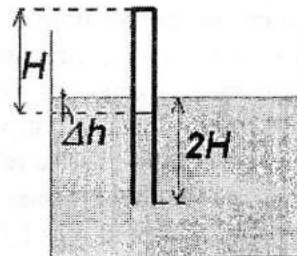
Задача 2.

Гантель масою m у вигляді двох точкових мас, з'єднаних абсолютно твердим стрижнем довжиною L , падає поступально з деякої висоти H_0 . Кут нахилу стрижня до горизонту $\alpha = \pi/4$ (див. рис.). Гантель при заданому значенні кута α здатна впритул пройти крізь щілину в горизонтальній плиті. На висоті H гантель абсолютно пружно стикається з краєм горизонтального виступу і за час подальшого польоту до досягнення однією з мас верхньої площини плити повертається на кут $2,5\pi$. З якої висоти H_0 почала падати гантель? Яку максимальну товщину α може мати плита, для того, щоб гантель пролетіла крізь щілину, не торкнувшись її? Вважайте, що момент інерції гантелі відносно центра мас $I_c = mL^2/8$; довжина стрижня $L = (2^{1/2} H)/5$; пришвидшення вільного падіння $g = 10$ м/с²; втрат механічної енергії немає. Товщиною виступу знехтуйте.



Задача 3.

Запаяну з одного кінця трубку, в якій знаходиться деяка кількість повітря, опустили в резервуар з водою (див. рис.). Довжина підводної частини трубки $2H$, рівень води в трубці знаходиться на відстані H від запаяного кінця. Початкова температура 273 К, атмосферний тиск нормальний. Знайдіть положення рівня води у трубці після нагрівання всієї системи до 373 К. Тиском насиченої пари при 273 К знехтуйте. Як зміниться положення рівня води в трубці, якщо систему охолодити до початкової температури? $H = 1$ м, $h = 30$ см.



Задача 4.

На рис. 1 зображено вольт-амперну характеристику лампочки. Лампочку увімкнено в коло, зображене на рис. 2. Визначіть графічно силу струму в лампочці. При якому положенні повзунка потенціометра напруга між точками А і В дорівнює нулеві? При якому положенні повзунка ця напруга майже не змінюватиметься із малими змінами ЕРС батареї? Внутрішнім опором батареї знехтуйте.

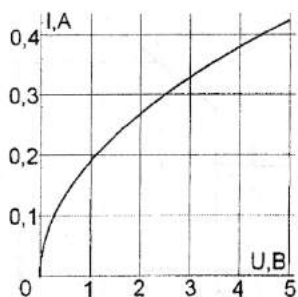


Рис. 1.

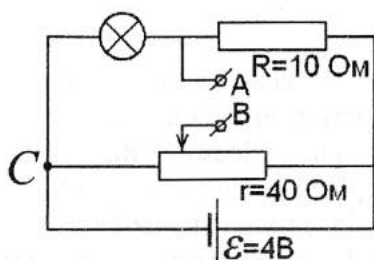


Рис. 2.

Задача 5.

Космічний корабель підлітає до Місяця по параболічній траєкторії, яка майже дотикається до його поверхні. В момент максимального зближення на короткий час вмикається гальмівний двигун, і корабель переходить на колову орбіту супутника Місяця. Визначіть зміну швидкості корабля і зміну радіусу кривини траєкторії під час гальмування. Радіус Місяця $R_M = 1740$ км, пришвидження вільного падіння на його поверхні $g_M = 1,7$ м/с².

Вказівка. На параболічній траєкторії на нескінченній віддалі від Місяця швидкість корабля дорівнює нулеві.

Задачі запропонували:

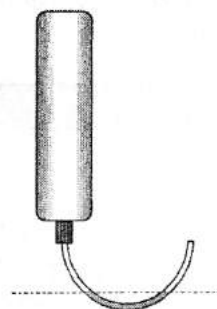
*О. Орлянський (1), А. Федоренко (2),
І. Рубцова (3), С. Гончаренко (4–5)*

II клас

Задача 1.

На літрову пляшку з повітрям герметично надіта трубка, яка має форму півкола і на третину заповнена водою. Визначіть питому теплоємність повітря c_α в пляшці для випадку, що зображений на рисунку, коли площина півкола вертикальна і від-

критий кінець трубки спрямовано догори. Уявіть, що Ви повернули всю конструкцію навколо горизонтальної осі, яка проходить через кінці водяного стовпчика, і вимірюєте теплоємність за різних кутів нахилу α ? Побудуйте графік залежності теплоємності повітря всередині пляшки від α ? Зовнішній тиск $P = 10^5$ Па, площа перерізу трубки $S = 0,5$ см². Тепловими втратами знехтуйте. Значення теплоємності знайдіть на початку процесу теплопередачі для невеликих відхилень водяного стовпчика від симетричного положення.



Задача 2.

Плоский металевий електрод, на який подано потенціал φ_0 , занурений у плазму, яка складається з нейтральних атомів, однозарядних йонів і електронів. Маса йона m_i , маса електрона m_e , концентрація плазми n_0 , її температура T ($e\varphi_0 \ll kT$, де e – заряд електрона, k – стала Больцмана). Закон розподілу потенціалу вздовж осі z , перпендикулярної до електрода, має вигляд:

$$\varphi(z) = \varphi_0 \cdot \exp(-z/r_D); \quad z > 0;$$

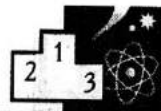
$$\varphi(z) = \varphi_0 \cdot \exp(z/r_D); \quad z < 0,$$

$$r_D = (\varepsilon_0 kT / 2e^2 n_0)^{1/2}.$$

Вважаючи, що довжина вільного пробігу йонів та електронів дорівнює відповідно λ_i та λ_e , знайдіть густину струму, що тече на електрод. Величини λ_i та λ_e вважати малими порівняно з відстанню, на якій помітно змінюється потенціал.

Задача 3.

23 лютого 1987 року було зареєстровано сплеск нейтрино в діапазоні енергій від 7,5 до 40 МеВ (мегаелектронвольт). Є підстави вважати, що ве-



личезну кількість нейтрино з середньою енергією майже 10 Мев випущено під час вибуху наднової в сусідній галактиці Велика Магелланова Хмара на відстані $L = 160\,000$ світлових років від Землі (1 світловий рік $\approx 9,46 \cdot 10^{15}$ м) з ділянки, розмірами якої можна знехтувати. Зараз питання про те, чи має нейтрино відмінну від нуля масу, невирішене. Одним зі способів з'ясування цього питання є вивчення розкиду моментів часу детектування нейтрино з різними енергіями, випущених одночасно. Оцініть проміжок часу Δt між моментами прийому одночасно випущених нейтрино з енергією $E_1 = 10$ МеВ і $E_2 = 40$ МеВ на вказаній відстані L , вважаючи, що:

- нейтрино – безмасова частинка;
- енергія спокою нейтрино $mc^2 \approx 10$ еВ;
- за знайденим часом Δt і відомими енергіями E_1 та E_2 отримайте вираз для маси, використовуючи малість відношення маси до енергії.

Задача 4.

Для вимірювання кутової відстані між компонентами тісної зоряної пари (подвійна зоря) попереду об'єктива телескопу вмістили діафрагму з двома

вузькими паралельними щілинами, відстань d між якими можна змінювати. Зменшуючи d , помітили, що перше погіршення видимості інтерференційної картини у фокальній площині об'єктива настає при $d = 125$ см. Знаючи, що вимірювання проводили на довжині хвилі світла $\lambda = 0,555$ мкм, знайдіть кутову відстань між компонентами подвійної зоряної системи. Обчисліть реальну відстань між цими компонентами, якщо паралакс зорі становить $\mu = 0,08''$. Кутовою відстанню ρ називають кут між компонентами зоряної системи під час її спостереження. Паралаксом μ називають кут, під яким із зорі “видно” радіус R орбіти обертання Землі навколо Сонця. Вважайте, що $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м.

Задача 5.

На нитці довжини L підвішена однорідна кулька діаметром $d = 6$ см. Визначаючи період малих коливань, систему розглядають як математичний маятник. За якого мінімального L це можливо, якщо похибка не має перевищувати 0,5 %? Маса математичного маятника точкова.

Задачі запропонували:

О. Орлянський (1), І. Анісімов (2),
С. Вільчинський (3), О. Шевчук (4, 5)

3 ІСТОРІЇ ФІЗИКИ...

ГЕНРІХ ГЕРЦ (1857–1894) – відомий німецький фізик, який відкрив електромагнетні хвилі, фотоефект. Він автор праць: “Про індукцію в кулі, що обертається”, “Про дуже швидкі електричні коливання”, “Про дію струму”, “Про співвідношення між світлом і електрикою”, “Про основні рівняння електродинаміки в тілах, які перебувають в стані спокою”, “Про основні рівняння електродинаміки для рухомих тіл”, “Про вплив ультрафіолетового світла на електричний розряд”.



Портрети Генриха Герца
і Джеймса Клерка Максвела

ДЖЕЙМС МАКСВЕЛ (1831–1879) – видатний шотландський фізик, народився в Единбурзі. За освітою він був математиком і фізиком. Його головні праці присвячені електриці та магнетизму. В своїй відомій праці Максвел 1855 року показав, що магнетне поле, яке створене джерелом струму, поширюється від нього з постійною швидкістю як електромагнетна хвиля. Він встановив, що швидкість поширення електромагнетних хвиль близька до швидкості світла і передбачив, що світло – особливий вид електромагнетних хвиль.



Про безкоштовні комп'ютерні програми

Іван Андронов,

*професор Національного морського університету,
м. Одеса*

Інструменти, які ми використовуємо, роблять глибокий вплив на наше життя. В статті автор стисло розглянув деякі з програм, які видалися зручними, і, можливо, виявляться корисними для читачів. Оскільки йдеться про безкоштовні програмні продукти, їхній опис не є комерційною рекламою.

Дорожнеча ліцензійного програмного забезпечення зумовлює економне відношення, і багато розробників виходять з того, що програми мають поділятися на "потрібний мінімум", і спеціалізовану "розкіш". З юридичного погляду, програми поділяються на безкоштовні (freeware) і платні, комерційні (commercial), між якими є величезний прошарок умовно-безкоштовних (shareware) програм.

Безкоштовні програми розробляють значною мірою завдяки ентузіазмові їхніх творців, які так самореалізуються і залишають свій позитивний слід у світі. "Моральним стимулом" їхньої праці є індикатори популярності, наприклад, лічильники числа завантажень або голосувань на софт-сайтах. Інші розробляють програми "для себе", долаючи додаткові функції, відсутні в інших програмах, або розкидані по декількох з них. Такі люди вважають, що не слід "дякувати алфавіту за люб'язно надані літери", і життєво потрібні речі мають бути безкоштовні.

Звичайно, серед мільйонів програм, опублікованих в Інтернеті, лише невелика частка реально цікава для інших. Більшість з них реалізують обмежений набір функцій, і є, швидше, результатом самонавчання програміста, ніж оригінальною розробкою. Низка фірм публікує "легкі версії" своїх програм з усіченим набором можливостей

порівняно з "повною (або "професійною") платною версією". У цьому випадку, безкоштовна програма є рекламою платної версії, але деякі з них самі собою корисні.

Умовно-безкоштовні програми сповідають принцип "спробуй, перш, ніж купити". Користувач може користуватися якийсь час (переважно 15–30 діб), після чого його моральний і юридичний борг або купити програму, або стерти її з комп'ютера. Для "забудькуватих", в деякі програми вбудований визначник часу після інсталяції програми на комп'ютер, і тоді вони перестають працювати. Такі "тимчасові (trial) версії" можуть відновити роботу після оплати і введення рестраційного коду.

Найпоширенішою в нашій країні є комерційна операційна система Microsoft Windows. Реальною альтернативою до неї є домінуюча в наукових установах за кордоном безкоштовна система UNIX/LINUX та її модифікації. Деякі системи містять безліч вбудованих програм-"утиліт" (Mandriva, RedHat, Debian, SuSe, Gentoo, Slackware). Інші, навпаки, вміщаються на одному лазерному диску, з якого їх можна завантажити, і працювати, використовуючи жорсткий диск з файловою системою Windows (Knoppix, Blin, Slax і ін.). В Україні є сайти, присвячені цій системі – <http://www.lafon.net>, <http://www.linux.zp.ua>, <http://www.linux.kiev.ua>. Значна кількість комп'ютерів працюють під системами MacOSX, FreeBSD та ін. І безкоштовні, і комерційні програми існують у в їх операційних системах. Найчастіше на Заході зустрічається комбінація використання UNIX на багатотермінальних робочих станціях і Windows на персональних портативних комп'ютерах. Об-



ширну таблицю аналогів Windows-програм у Linux подано на сайті <http://linuxshop.ru/linb>.

Розгляньмо стисло деякі зручні безкоштовні програми для Windows. На Інтернет-сторінці Української асоціації спостерігачів змінних зір uavso.pochta.ru/freeprog.html, яку ми редагували, подано посилання на багато Інтернет-ресурсів, дуже скорочену вибірку яких подано у цій статті. На відміну від софт-сайтів (<http://www.softodrom.ru>, <http://soft.list.ru>, <http://download.ru> і ін.) з тисячами пересічних за можливостями програм, ми намагали відзначити з нашого погляду лише якнайкращі.

Текстові редактори

Текстові редактори дають змогу переглядати і редагувати файли з документацією, даними, програмами різними мовами програмування. Найпростішим з них є вбудований в систему “Блокнот” (NotePad). На жаль, іноземні розробники ігнорували українські традиції, і тому часто використовують, принаймні, шість різних кодувань кирилиці. Наприклад, слово “привіт”, набране в кодуванні KOI-8 (UNIX), в Windows виглядає, як “РТЙЧЕФ”. Для автоматичного “дешифрування” електронних листів й інших текстів можна рекомендувати окрему програму Shtirlitz. Проте, зручніше таку просту підстановку виконувати в самому текстовому ре-

дакторі, і було розроблено сотні “замінників блокнота”, в яких додатково реалізована можливість декодування російського тексту (TextEd, Texter, TEA, ListEdit, AkelPad та інш.). Проте, виправлення регістра, розкладки клавіатури, транслітерацію не лише для російської, а й української мов, поки дає змогу робити лише надбудова над текстовим редактором з символічним ім’ям “Bred” (<http://soft.softodrom.ru/ap/p4726.shtml>).

Ця ж програма має вбудований рядковий калькулятор з додатковими функціями, деякими фізичними та астрономічними константами, а також скриптовий обробкою рядків і залежної від типу файлу мультизаміною.

У кожне середовище розробки (QBasic, Visual Basic, Pascal, Delphi, 3) звичайно вбудовані і текстові редактори. Проте, існує клас текстових редакторів для програмістів, в яких є додаткові можливості, зокрема, “шаблони”, “сніппети”, “макроси” і “автозаміна”. Якнайкращі іноземні програми цього типу – UltraEdit, EditPadPro.

З українських найзручнішою є безкоштовна TEA (<http://www.roxton.kiev.ua>). Для порівняння двох текстових файлів і пошуку відмінностей (наприклад, різних версій однієї статті або програми) зручна WinCmp.

За кордоном упродовж майже двох десятиріч фактичним стандартом для підготовки докумен-

“Фізичний мінімум” академіка Гінзбурга на початок XXI сторіччя

Швидкість розвитку науки сьогодні вражає. Буквально впродовж одного-двох людських життів відбулися гігантські зміни у фізиці, астрономії, біології та багатьох інших галузях. Це можна простежити навіть на прикладі сім’ї відомого фізика, Нобелівського лауреата з фізики, академіка В. Гінзбурга. Його батько, що народився 1863 року, був молодшим сучасником Максвелла (1831–1879). Йому самому було вже 16 років, коли 1932 року відкрили нейтрон і позитрон. А вже до цього були відомі лише електрон, протон і фотон. Непросто

усвідомити, що електрон, рентгенівське випромінювання і радіоактивність відкрито майже сто років тому, а квантова теорія зародилася лише 1900 року. Водночас сто років – це так мало порівняно з майже трьома мільярдами років відтоді, як на Землі зародилося життя, або з віком сучасних людей (*Homo sapiens*), який становить майже 50–100 тисяч років!

Варто пригадати й те, що перші великі фізики Аристотель (384–322 рр. до Р. Х.) і Архимед (перед 287–212 рр. до Р. Х.) відокремлені від нас



тації є мова розмітки LaTeX, безкоштовні компілятори для якого розроблені й для Windows (MikTeX), і для LINUX (TeX). Саме на ньому автори готують свої статті, підручники, монографії, енциклопедії тощо. Зручністю є змога підготувати у будь-якому текстовому редакторі, а вже далі компілювати і переглядати на тому комп'ютері, де встановлений LaTeX або компіляція в поширеніші формати PDF або PS.

Проте, для багатьох користувачів зручніший інший підхід, який реалізовано в Microsoft Office. Зміна шрифтів й інших об'єктів відразу ж відображається на екрані, тобто програма проводить опрацювання змін у реальному часі, і не вимагає окремого запуску. Офіс складається не лише з текстового процесора WinWord (надзвичайно сильно усічена версія якого – WordPad – присутній в системі), а й взаємосумісних програм Excel, PowerPoint, Outlook, Access. Реальною безкоштовною альтернативою всьому пакету офісних програм є лише OpenOffice. Він не лише сумісний за форматами з Microsoft Office, а й має власний формат, і додаткові можливості, зокрема, й з набору математичних формул.

Однак "часткові заміни" різним компонентам обох "офісів" часто працюють навіть швидше, не

маючи всього вантажу додаткових функцій, що рідко використовують (або що не використовують взагалі), – Atlantis, [R]editor, LidaEd, Hieroglyph, SuperPad, AbiWord, NoteRePad й ін. Останнім часом стали популярними "записники", зручні для структуризації записів – FolDix, AML Pages, AdvDiary, MyNotesCenter, а також редактори електронних енциклопедій і довідників UNICAT, Info-Commander з великою кількістю публікацій у цих форматах.

Компілятори і середовища розробки

Хоча сучасне використання комп'ютера для багьто кого означає "друкарська машинка", "магнетелефон", "кінотеатр", "ігрова приставка", саме слово "комп'ютер" означає все ж таки "пристрій для обчислень". На жаль, в операційну систему Windows для обчислень входить лише "калькулятор", за можливостями відповідний простому, навіть не програмованому калькулятору. Для складніших обчислень, потрібно додатково ставити "середовище розроблення додатків", що використовує яку-небудь мову програмування. Фірма Microsoft пропонує достатньо дорогий Visual Studio. Багато хто використовує VBA для редактора електронних таблиць Excel. Популярністю користую-

Продовження

понад двома тисячоліттями. Далі наука розвивалась порівняно поволі, і не останню роль тут відіграв релігійний догматизм. Лише від часів Галілея (1564–1642) і Кеплера (1571–1630) фізика розвивалась швидшими темпами. До речі, навіть Кеплер вважав, що існує сфера нерухомих зір, яка "складалася з льоду або кристала". Загальновідомо, як Галілей боровся, щоб утвердити геліоцентричні уявлення, за що його 1633 року осуджено інквізицією. Який шлях пройдено відтоді – лише за 300–400 років! Як підсумок – сучасна наука.

Можна передбачати, що в XXI сторіччі наука розвиватиметься не швидше, ніж у XX сторіччі. Водночас фізика так розвинулась і диференціювалась, що важко нині охопити нашою уявою сучасну картину фізики. Попри всі відгалуження фізика має свій стрижень. Таким стрижнем є фун-

даментальні поняття і закони, сформульовані в теоретичній фізиці.

Академік Віталій Гінзбург запропонував перелік найважливіших і найцікавіших фізичних проблем, над розв'язанням яких працюватимуть фізики в майбутньому.

Макрофізика

Керований ядерний синтез.

Високотемпературна і кімнатнотемпературна надпровідність.

Металевий водень. Інші екзотичні речовини.

Двовимірний електронний рідинний ефект Холла й інші ефекти).

Деякі питання фізики твердого тіла (гетероструктури в напівпровідниках, переходи метал-діелектрик, хвилі зарядової і спінової густини, мезоскопіка).



тсья C, Delphi, IDL, Fortran Power Station, Java, Python, MathLab, MathCAD, Mathematica та інші дуже розвинуті (і дорогі) пакети.

Але існують досить добре працюючі безкоштовні програми для розроблення наукових і навчальних додатків. Добру підбірку подано на <http://www.thefreecountry.com/developercity>. Деякі з цих програм підготовлені для роботи і в Windows, і в UNIX. Найпопулярнішим є GCC, компілятор мови C. До нього примикають компілятори з мов Fortran, Python. У мови Basic багато модифікацій, пов'язаних із відмінністю компіляторів. Найближчим за сумісністю до Microsoft Visual Basic 3, є Envelop. Власні діалекти мови використовують FreeBasic, PureBasic, HTBasic, JustBasic, Rapid-Q Basic, Cyclone.

FreePascal (<http://www.freepascal.org>) за інтерфейса і синтаксисом мови найближчий до Borland Pascal, проте, дає змогу використовувати графічні режими сучасних моніторів, створювати швидкі програми в стилі Windows. Велика кількість прикладів полегшує навчання. З ним інтегровано середовище візуального програмування Lazarus, схоже на Delphi.

Найновішою системою для навчання програмуванню на мові Паскаль, є Pascal ABC (<http://>

sunschool.math.rsu.ru/pabc). Документація російською мовою доповнюється електронним задачником і сотнями прикладів, що охоплюють основні розділи курсу програмування. Активно розвивається сценаріїв мова програмування LangFM. Gentee дає змогу створювати програми, що запускаються з додатків іншими мовами.

Калькулятори

Програми цього класу поділяють на "звичайні", рядкові та графічні. Перші імітують калькулятори з одним вікном і безліччю кнопок для набору чисел і математичних виразів. Для обчислення арифметичних дій, тригонометричних і експоненціальних функцій, достатнім є CALC, є в Windows, і його саморобні аналоги мають сенс або для навчання програмуванню, або для обчислення якихось спеціальних функцій.

Рядкові калькулятори часто вбудовують у текстові редактори, що дає змогу зберегти результати і відповідні коментарі у файл. Обчислення складних функцій допускають багато середовищ розробки додатків "у режимі калькулятора" або в результаті виконання програми.

Графічні калькулятори дають змогу не лише обчислювати функції, а й будувати їхні графіки,

Продовження

Фазові переходи другого роду і споріднені з ними. Охолодження (зокрема лазерне) до наднизьких температур. Бозе-айнштайнівська конденсація у газах.

Фізика поверхні. Кластери.

Рідинні кристали. Сегнетоелектрики.

Фулерени. Нанотрубки.

Поведінка речовини в надсильних магнетних полях.

Нелінійна фізика. Турбулентність. Солітони.

Хаос. Дивні атрактори.

Разери (рентгенівські лазери), гразери, надпотужні лазери.

Надважкі елементи. Екзотичні ядра.

Мікрофізика

Спектр мас. Кварки і глюони. Квантова хромодинаміка. Кварк-глюонна плазма.

Єдина теорія слабкої та електромагнетної взаємодії. W^\pm - і Z^0 -бозони. Лептони.

Стандартна модель. Велике об'єднання. Супероб'єднання. Розпад протона. Маса нейтрино.

Магнетні монополі.

Фундаментальна довжина.

Взаємодія частинок за високих і надвисоких енергій. Колайдери.

Незбереження CP-інваріантності.

Нелінійні явища у вакуумі й у надсильних електромагнетних полях. Фазові переходи у вакуумі.

Струни. M-Теорія.



звичайно, з автоматичним визначенням масштабу. Їх можна розділити на двовимірні (2D, лінії на площині) і тривимірні (3D, поверхні в просторі). Вони вельми ілюстративні під час вивчення математичного аналізу та аналітичної геометрії. Відзначмо WiseCalculator, 3D Grapher, Approximator, CurveFit, які дають змогу знаходити коефіцієнти функцій, статистично оптимально згладжувати дані, які спостерігають.

Графічні редактори і переглядачі

Редактори дають змогу читати файли різних графічних форматів, створювати нові, а також створювати малюнки і записувати результати. Найрозвинутішими є комерційні Corel Draw і Adobe Photoshop. Серед безкоштовних відзначмо Gimp і Blender, популярні під Linux, і нині доступні у версії під Windows. GimpShop схожий по інтерфейсу на PhotoShop. Безкоштовний редактор 3D графіки – Gmax.

Переглядачі дають змогу не лише відображати графічні й деколи мультимедійні файли, а й вирізувати із зображень окремі ділянки, змінювати розмір, яскравість, контраст, колір, повертати, записувати в інших форматах. Дуже зручні IrfanView, XNView. У Stareditor є змога створювати GIF-анімації та утиліти для створення комп'ютерних презентацій.

Архівація і робота з файлами

Для роботи з архівами (групами файлів, упакованих в один із стисненням без втрати інформації), найпопулярнішими є умовно-безкоштовні WinZip, WinRar (<http://www.rarlab.com>). Проте, якнайкращий ступінь стиснення для більшості типів файлів

забезпечує безкоштовний 7-Zip (<http://www.7zip.org>). Зручніше з архівами працювати за допомогою файлових менеджерів FAR (<http://www.rarlab.com>, безкоштовний для країн колишнього СРСР) або Total Commander (<http://www.ghisler.com>, умовно-безкоштовний). Для цих програм розроблені спеціальні інсталяційні версії, що включають і настроюючі безліч додаткових модулів-плагинов

(відповідно <http://farpowerpack.nm.ru> і <http://softbox.ru?a=21&i=1576>).

Пошукові системи

Через наявність величезної кількості Інтернет-сайтів, для швидкого пошуку потрібних адрес використовують пошукові системи, з яких слід виділити yahoo.com, google.com.ua, meta.com.ua, meta-ukraine.com (загального призначення). Пошук програм, розміщених на своєму сайті, підтримує більшість популярних софт-сайтів. Пошук програм на різних сайтах можливий, наприклад, через filesearch.ru. Архів електронних препринтів наукової статті з астрономії, фізики й математики доступний на ru.archive.org і численних копіях у різних країнах. Багато опублікованих астрономічних статей доступні на cdsads.u-strasbg.fr/abstract_service.html. Добрі інформаційно-пошукові системи для одеситів на mercury.odessa.ua і www.odessa-net.

Звичайно, неможливо охопити всі програми і Інтернет-адреси, які коли-небудь можуть знадобитися. Повна версія статті та посилання подано на сайті <http://uavso.pochta.ru/freeprog.htm>. У цій публікації відображено лише деякі з них. Сподіваємося, що й вони будуть корисні.

Продовження

Астрофізика

Експериментальна перевірка загальної теорії відносності.

Гравітаційні хвилі, їх детектування.

Космологічна проблема. Інфляція. L-член.

Зв'язок між космологією і фізикою високих енергій.

Нейтронні зорі та пульсари. Найновіші зорі.

Чорні діри. Космічні струни.

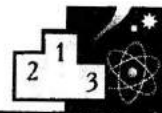
Квасари і ядра галактик. Утворення галактик.

Проблема темної матерії (прихованої маси) та її детектування.

Походження космічних променів з надвисокою енергією.

Гамма-спалахи. Гіпернові.

Фізика нейтрино та астрономія. Осциляції нейтрино.



ЮНІ ФІЗИКИ В СЕУЛІ

XX Міжнародний турнір юних фізиків відбувся 4–12 липня 2007 року в Сеулі (Корея). У турнірі брали участь 22 команди з усього світу, ще три команди були спостерігачами. Кожна з команд провела п'ять відбіркових боїв. Три команди, які набрали найбільше балів, вийшли до фіналу, де виступували дипломи першого і другого ступенів, сім наступних команд за кількістю балів отримали дипломи третього ступеня. У фіналі перемогла команда Австралії, яку нагородили дипломом 1-го ступеня. Команди Нової Зеландії та Республіки Корея одержали дипломи 2-го ступеня.

Учасником від України була команда школярів з м. Луганська, що стала переможцем Всеукраїнського турніру юних фізиків цього року. Керівниками української команди були Олександр Леонідович та Олександр Олександрович Каміни.

За словами учасників турніру, українська команда була підготовлена добре.

Команда України сподівалась вибороти призове місце, оскільки із 17 задач МТЮФ вона підготувала для доповіді 13. Учасники доповідали задачі, які вважали добре підготовленими теоретично та експериментально, на всі підготовлені задачі було оформлено комп'ютерні презентації. Це можна побачити, порівнявши, наприклад, розв'язки задачі "Водяні струмені" українських школярів і команди Австралії, яку ця команда доповідала у фіналі. З п'яти задач, які українська команда доповідала, з двома ці ж учасники успішно виступали на Всеукраїнському ТЮФ. Під час турніру штрафних санкцій за відмови команда не одержувала.

Однак призового місця наша команда не здобула, оскільки журі Міжнародного турніру юних фізиків під час оцінювання менше уваги зосереджувало на фізичний зміст розв'язку задачі, ніж на її презентацію. Фізичний зміст оцінювали 4-ма балами, також 4-ма балами оцінювали презентацію і 2-ма балами – виступи під час дискусії.

Наприклад, у всіх п'яти боях суперники української команди одержували вищі оцінки насамперед не за фізичне опрацювання задачі, а за барвисто оформлені реферати. На Всеукраїнському

турнірі максимальний бал виставляють, якщо доповідають успішно результати власного дослідження, на Міжнародному турнірі журі у відбіркових боях вище оцінювали оформлення презентації і відповідність її формальним критеріям, а не глибину її фізичного змісту. Саме це відрізняє принципи оцінювання членами журі на Всеукраїнському і Міжнародному турнірах.

Шанси української команди вибороти призове місце можуть бути вищі за таких умов:

1. Якщо б учасники команди та її керівники менше витрачали часу і зусиль на організаційні питання.

Наприклад, команди Польщі та Словаччини на оформлення поїздки (придбання квитків, виготовлення закордонних паспортів, отримання віз тощо) затратили відповідно 3 і 4 дні, наша команда – три місяці.

2. Якщо б команда мала постійне приміщення для теоретичних занять та лабораторію для експериментальних досліджень. Під час підготовки багато часу учасники витрачають на пошуки потрібного лабораторного обладнання. Наприклад, члени Міжнародного журі дивувались, чому команда не мала цифрового люксметра, щоб безпосередньо виміряти світловий потік.

Найвищу оцінку українська команда одержала за доповідь задачі "Конденсація". Цю задачу вдома команда дуже ретельно готувала. За допомогою мікроскопа було зроблено понад сто фотографій, у доповіді було використано майже двадцять із них. Обладнання, потрібне для підготовки цієї доповіді, українська команда змогла знайти лише за тиждень до від'їзду на турнір.

3. Якщо б учасники команди мали до турніру досвід виступу перед англійськими командами. Такого досвіду можна набути, беручи участь у міжнародних дитячих наукових конференціях, які регулярно проводять в Європі, та організовуючи аналогічні конференції в Україні. Все ж таки треба зазначити, що рівень мовного вишколу команди під час турніру виявився задовільним: суперники і журі (в доповідях і в дискусіях) розуміли наших, а наші розуміли суперників і членів журі.



Утім, варто звернути увагу, що для двох команд з трьох переможців англійська мова рідна (третій переможець – господарі турніру).

Із досвіду участі в ХХ МТЮФ, керівник української команди О. Камін порекомендував, що варто зробити в майбутньому:

1. Збільшити кількість задач, спільних для Всеукраїнського і Міжнародного ТЮФу;

2. Для фіналістів Всеукраїнського ТЮФу ввести другий фінальний бій, в якому команда доповідає задачу за власним вибором (як на Міжнародному ТЮФу). Другий бій проводити англійською мовою. Переможця Всеукраїнського ТЮФу визначати за першим боєм, учасників Міжнародного ТЮФу – за сумою балів у двох боях.

3. Організувати для команди, учасника майбутнього Міжнародного ТЮФу, тренувальний збір, який проводять члени журі та керівники команд, які вільно володіють англійською мовою.

4. Варто запрошувати на Всеукраїнський ТЮФу команди та членів журі із сусідніх держав (Росії, Польщі, Угорщини, Словаччини та ін.).

5. Організувати Міжнародні юніорські турніри фізиків.

6. Переконати організаторів Міжнародного ТЮФу більшу увагу звертати на фізичний зміст доповідей.

На думку наших учасників цього річного МТЮФу, українським командам не можна відмовлятися від участі в Міжнародних турнірах. Водночас Всеукраїнський ТЮФу проводити за правилами і традиціями, які сформувались за 15 років турнірного руху в Україні.

Офіційна підсумкова таблиця відібраних боїв

	1	2	3	4	5	Сума
Австрія	45,5	42,6	49	44,1	45,3	226,5
Корея 2	44,8	44,8	43,2	44,7	46,8	224,3
Нова Зеландія	42,6	48,2	45,6	42,5	43,5	222,4
США	46,6	43,3	44,3	42,8	40,3	217,3
Німеччина	43,7	45,7	40,7	44	42	216,1
Корея 2	41,1	46,6	42,6	43,7	41,8	215,8
Словаччина	44,9	41,7	40	43,7	39,1	209,4
Польща	42,9	41,6	41,7	44,4	37,7	208,3

Швейцарія	43,2	42,9	43,4	39,3	37,6	206,4
Австрія	40,7	43,1	39,9	40,9	41,3	205,9
Великобританія	9,3	41,5	36,7	40,3	38,1	195,9
Хорватія	40,8	39,8	39,8	37,1	38,1	195,6
Румунія	39,8	40,5	37,8	38,5	36,1	192,7
Болгарія	36,6	41,5	38	37,1	37,6	190,8
Щвеція	38,9	37,3	39,7	34,8	38,6	189,3
Україна	36,4	38,2	33,9	37,1	36,6	182,2
Бразилія	35,2	31,9	36,3	35,5	38	176,9
Кенія	35,7	36,3	33,2	33	34,1	172,3
Кіпр	37,9	31,8	27,3	34,8	36	167,8
Чеська Республіка	31,1	34,4	25,8	27,1	27,9	146,3
Нідерланди	30,6	30,4	25,1	24,4	28,2	138,7
Нігерія	29,9	27,7	28	26,8	24,6	137

Фіналісти набрали 226, 224 і 222 бали, що відповідає середньому балові 7,54; 7,47; 7,4. Середній бал останнього призового місця (десятого) – 6,86.

Команда України набрала 182,2 бали, середній бал 6,07. Бали виставляли від 1 до 10, по цій шкалі 6 – якраз середній бал, за цим критерієм результат нашої команди можна вважати середнім.

В Україні турнір юних фізиків успішно проходить завдяки великим зусиллям організаторів, ініціативних керівників команд, переважно за кошти учасників. Переможці українських турнірів юних фізиків, щоб поїхати на міжнародний, змушені не лише за короткий час добре підготуватись до нього, а й знайти чималі кошти. Через брак коштів наші команди не кожен рік мають змогу брати участь у цих престижних інтелектуальних міжнародних змаганнях.

Цього року команда школярів м. Луганська брала участь у МТЮФі завдяки вагомій організаційній допомозі Луганської МАН і МАН України, та методичної допомоги викладачів і студентів Луганського педагогічного університету ім. Тараса Шевченка, Харківського національного університету ім. Каразіна, Дніпропетровського національного університету, Київського національного університету імені Шевченка, Одеського національного університету ім. Мечникова, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (Луганськ).



Фізика об'єднує народи

17 січня 2007 року в Берлінському вільному університеті відбулась конференція з нагоди 80-річчя від дня народження відомого німецького фізика, професора Манфреда Ахіллеса.

На початку роботи конференції проф. Ахіллес щиро подякував усім, хто знайшов час і змогу взяти у ній участь, представивши гостей різних поколінь – своїх колег і молодь, тих, що приїхали з різних університетів Німеччини, сина видатного фізика і педагога Роберта Поля – доктора Дж. Поля, що прибув з Америки, тепло і щиро представив гостей з України, розповівши, що Україну йому відкрив фізик О. Проскура.

У січні 2003 року у Львівському національному університеті імені Івана Франка відбулась Міжнародна наукова конференція “Фізика процесів у середовищах для оптичного запису інформації” з нагоди 100-річчя від дня народження О. Стасіва, де професор Ахіллес з власної ініціативи брав у ній участь, виступивши на пленарному засіданні з доповіддю “О. Стасів у Геттінгені”. Під враженням від спілкування з професорами та студентами, від знайомства зі Львовом, професор Ахіллес продовжує цікавитись подіями в Україні, її історією, культурою. Статтю в журналі Берлінського технічного університету про львівську конференцію він завершив думкою: “Це була чудова подія, яка здатна об'єднувати народи”.

Під час конференції в Берліні виступили науковці з Німецького вільного університету з доповідями про життєвий та науковий шлях проф.



Син Роберта Поля Джон та український фізик Олександр Проскура під час дискусії



Prof. Manfred Achilles
Leben mit der Physik in Berlin

Ахіллеса та професор із Авгсбурзького університету Ретер Гірінг з доповіддю про історичні експерименти у фізиці.

У конференції брала участь редактор журналу “Світ фізики” Галина Шопя. Вона привітала ювіляра від імені українських фізиків, розповіла присутнім про Львівський національний університет імені Івана Франка, журнал “Світ фізики”, що досліджує доробок українських науковців, які працювали в європейських університетах і доносить до українського читача.

Одну з основних праць професора Ахіллеса “Історичні дослід з фізики”, що вийшла кількома виданнями досі використовують як підручник в університетах Німеччини. Автор власноручно відтворив і підтвердив досліді класиків науки, починаючи від Ньютона, Фаренгейта та Ампера, та прокоментував їх. Проф. Ахіллес докладно описав ці досліді, підготувавши тим самим основи для оволодіння студентами культури наукового експеримента з фізики.

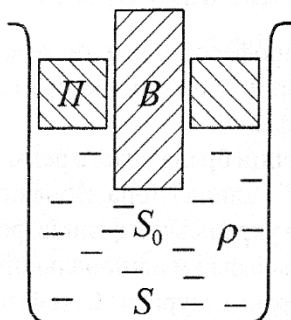
З нагоди ювілею німецького фізика в серії “Бібліотека “Світу фізики” вийшла з друку книжка німецькою мовою “Різдвяні розповіді про знаменитих фізиків” (видавництво “Євросвіт”, 2007), в якій автор подає цікаві відомості про відомих фізиків, їхнє життя та наукові здобутки. Серед них, фізики українського походження Іван Пулюй, Олександр Смакула, Остап Стасів. Цю добірку можуть використати як навчальний матеріал, що містить автентичні тексти, ті, хто поглиблено вивчає німецьку мову.

РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ ІV ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Рівне, 2007)

8-й клас

Задача 1.

Коли на поверхню втулки поклали важок масою m_0 , глибина її занурення збільшилася на h_1 .



При цьому втулка додатково витиснула масу рідини

$$m_0 = \rho \cdot S_0 \cdot h_1.$$

Звідси?

$$h_1 = \frac{m_0}{\rho \cdot S_0}.$$

Збільшення глибини занурення втулки веде до підвищення рівня рідини в посудині на висоту h_2 . Це підвищення рівня рідини можна визначити з рівності $m_0 = \rho \cdot S \cdot h_2$:

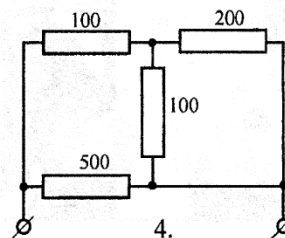
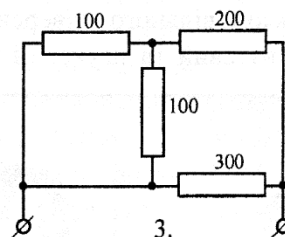
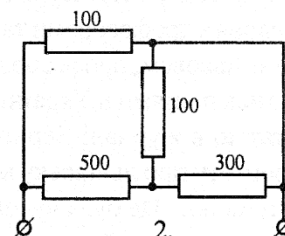
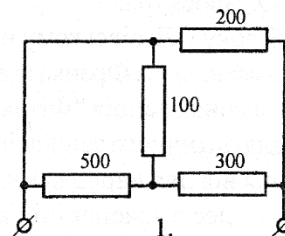
$$h_2 = \frac{m_0}{\rho \cdot S}.$$

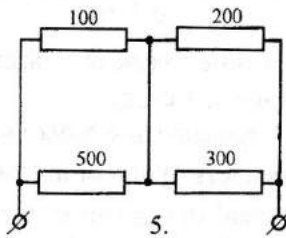
Втулка відносно початкового положення зміститься на

$$\Delta x = h_1 - h_2 = \frac{m_0(S - S_0)}{\rho \cdot S \cdot S_0}.$$

Задача 2.

При замиканні одного з резисторів можливі п'ять варіантів з'єднання.





Виконаний розрахунок показує, що загальний опір:

$$R_1 = 131,4 \text{ Ом}; R_2 = 85,2 \text{ Ом}; R_3 = 136,4 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 125 \text{ Ом}; R_5 = 203,3 \text{ Ом}.$$

Отже, найменший опір між точками А і В буде у схемі 2, в результаті закорочування резистора з опором 200 Ом.

Задача 3.

Із масштабу рисунка випливає, що віддаль між пунктирними лініями 0,5 см. Зона сканування проходить три смуги за 5 с, а круг циферблата за 1 хвилину. Перше фіксування секундної стрілки відбудеться за 20 с після початку сканування біля цифри 4. Кінець фіксування тонкої частини секундної стрілки відбудеться на рівні середини циферблата за 35 с після початку сканування. За 15 с після цього біля числа 10 наконечник? секундної стрілки знову дожене зону сканування і вийде із неї між цифрами 12 і 1 приблизно за 63 секунди сканування (див. мал.).

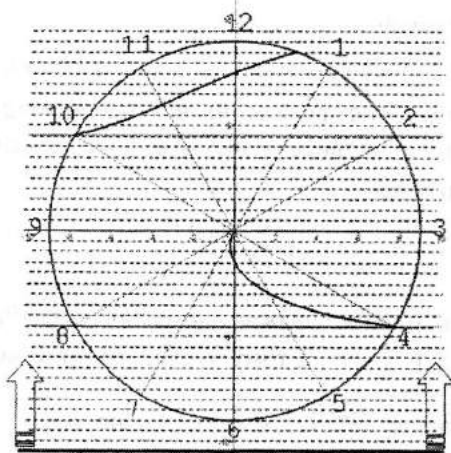


Рисунок задачі будують по точках, чому сприяє підбір умов. Переконаливо і незрозуміло з першого погляду виглядає лінія у верхній частині циферблата, на якій зображено віддалену від осі частину стрілки.

Задача 4.

Нехай C_k – теплоємність калориметра,
 $C_B = mc_B = 0,21 \text{ кДж/С}$ – теплоємність початкової кількості води, t_1 – температура, яка встановилася в першому калориметрі. Тоді рівняння теплового балансу мають вигляд:

$$C_k(t_1 - t_k) = C_B(t_B - t_1); \tag{1}$$

$$C_k(t - t_k) = \frac{C_B}{2}(t_1 - t). \tag{2}$$

Підставляючи t_1 з (1) до (2), маємо:

$$C_k t_k + \frac{C_B}{2} \frac{C_k t_k + C_B t_B}{C_k + C_B} = \left(C_k + \frac{C_B}{2} \right) \frac{t_B}{2} \tag{3}$$

(враховано, що $t = 0,5 t_B$). Ввівши безрозмірні змінні

$$x = \frac{C_k}{C_B}, \quad a = \frac{t_k}{t_B} = 0,4, \tag{4}$$

перепишемо (3) у такому вигляді:

$$ax + \frac{ax+1}{2(x+1)} = \frac{1}{2} \left(x + \frac{1}{2} \right), \tag{5}$$

або

$$4ax(x+1) + 2(ax+1) = (2x+1)(x+1),$$

чи, в стандартному вигляді,

$$2(2a-1)x^2 + 3(2a-1)x + 1 = 0. \tag{6}$$

Ще раз замінимо параметр, позначивши

$$b = \frac{1}{1-2a} = 5. \tag{7}$$

Тоді (6) набирає вигляду:

$$2x^2 + 3x - b = 0. \tag{8}$$

Корені рівняння (8) мають вигляд:

$$x_{1,2} = \frac{-3 \pm \sqrt{9 + 8b}}{4}. \tag{9}$$

Від'ємний корінь $x_2 = -2,5$ у цьому разі не має фізичного змісту, тому залишається корінь $x_1 = 1$.

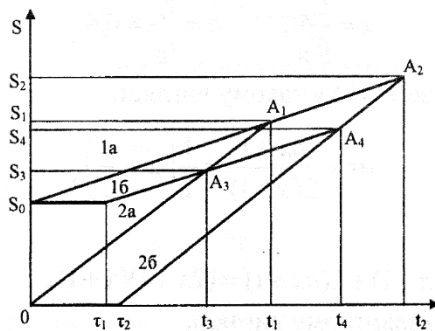
Повертаючись до старих позначень, маємо:

$$C_k = \frac{C_B}{4} \left(-3 + \sqrt{9 + 8 \frac{t_B - t}{t - t_k}} \right), \quad (9a)$$

тобто $C_k = 0,21 \text{ кДж/}^\circ\text{С}$.

Задача 5.

Розв'яжімо цю задачу за допомогою графічного методу. За початок відліку часу приймімо момент, коли автомобіліст виїжджає з пункту А. На той час велосипедист подолав деякий шлях S_0 . За умовою задачі зустріч відбулася після зупинок і не залежить від того, коли саме вони відбувались, тому умовно зобразимо їх на початку відліку. Пряма 1а є графіком запланованого руху велосипедиста, а пряма 1б – із зупинкою тривалості τ_1 . Аналогічно пряма 2а є графіком запланованого руху автомобіліста, а 2б – із зупинкою тривалості τ_2 (див. мал.). Точці A_1 відповідає запланована зустріч, точці A_2 – зустріч, визначена автомобілістом, точці A_3 – зустріч, визначена велосипедистом, точці A_4 – справжня зустріч.



За умовою задачі

$$\begin{aligned} \Delta t_{12} &= t_2 - t_1 = 0,75 \text{ год,} \\ \Delta S_{31} &= S_1 - S_3 = 45 \text{ км,} \\ \Delta t_{42} &= t_2 - t_4 = 0,5 \text{ год,} \\ \Delta S_{43} &= S_4 - S_3 = 30 \text{ км.} \end{aligned}$$

Оскільки $A_1A_2A_4A_3$ – паралелограм, то швидкість велосипедиста

$$V_1 = \frac{\Delta S_{21}}{\Delta t_{12}} = \frac{\Delta S_{43}}{\Delta t_{12}} = \frac{30 \text{ км}}{0,75 \text{ год}} = 45 \text{ км/год,}$$

а швидкість автомобіліста

$$V_2 = \frac{\Delta S_{42}}{\Delta t_{42}} = \frac{\Delta S_{31}}{\Delta t_{42}} = \frac{45 \text{ км}}{0,5 \text{ год}} = 90 \text{ км/год.}$$

Цю задачу можна також розв'язати за допомогою алгебраїчного методу.

Нехай Δt_1 – тривалість зупинки велосипедиста; Δt_2 – тривалість зупинки автомобіля. Тоді зменшення відстані між автомобілем та велосипедом завдяки їхнім зупинкам буде:

$$v_2 \Delta t_1 - v_1 \Delta t_2,$$

де v_1 – швидкість велосипедиста; v_2 – швидкість автомобіля. Це зумовлює зменшення часу руху велосипедиста на:

$$\frac{v_2 \Delta t_1 - v_1 \Delta t_2}{v_2 - v_1}.$$

Шлях, який пройшов велосипедист, зменшиться на:

$$\Delta l = \frac{v_2 \Delta t_1 - v_1 \Delta t_2}{v_2 - v_1} v_1. \quad (1)$$

За умовою задачі $\Delta l = 45 \text{ км} - 30 \text{ км} = 15 \text{ км}$.

Загальний час руху велосипедиста завдяки його зупинки зростає на Δt_1 і зменшиться на

$$\frac{v_2 \Delta t_1 - v_1 \Delta t_2}{v_2 - v_1}.$$

Отже, загальний час руху велосипедиста буде:

$$\Delta t_1 - \frac{v_2 \Delta t_1 - v_1 \Delta t_2}{v_2 - v_1} = \Delta T. \quad (2)$$

За умовою

$$\Delta T_1 = 45 \text{ хв} - 30 \text{ хв} = 15 \text{ хв} = 0,25 \text{ год.}$$

Автомобіліст вважає, що збільшення відстані між ними становить $v_1 \Delta t_2$, а тому час запізнення зустрічі буде:

$$\Delta T_1 = \frac{v_1 \Delta t_2}{v_2 - v_1}. \quad (3)$$

Велосипедист вважає, що зменшення відстані становить $v_2 \Delta t_1$, а тому зустріч відбудеться раніше на час $\frac{v_2 \Delta t_1}{v_2 - v_1}$. Або ближче на ΔS

$$\Delta S = \frac{v_2 \Delta t_1}{v_2 - v_1} v_1. \quad (4)$$



Ми одержали систему алгебраїчних рівнянь з чотирма невідомими: Δt_1 ; Δt_2 ; v_1 ; v_2 .

Розв'язавши цю систему, знайдемо швидкості руху велосипедиста та автомобіля.

$$v_2 = \frac{\Delta S}{\Delta T - \Delta t_1} \rightarrow v_2 = \frac{45 \text{ км}}{0,5 \text{ год}} = 90 \text{ км/год},$$

$$v_1 = \frac{\Delta S - \Delta l}{\Delta T} \rightarrow v_1 = \frac{(45 - 15) \text{ км}}{0,75 \text{ год}} = 40 \text{ км/год}.$$

Щоб перевірити розв'язок, можна визначити час стоянки велосипедиста і автомобіля.

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta T(v_2 - v_1)}{v_1} \rightarrow$$

$$\Delta t_2 = \frac{0,75 \cdot 50}{40} = \frac{15}{16} \text{ год} = 0,9375 \text{ год},$$

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta S(v_2 - v_1)}{v_1 v_2} \rightarrow$$

$$\Delta t_1 = \frac{45 \cdot 50}{40 \cdot 90} = \frac{5}{8} \text{ год} = 0,625 \text{ год}$$

9-й клас

Задача 1.

Нехай C_K – теплоємність калориметра,

$C_B = mc_B = 0,21 \text{ кДж/С}$ – теплоємність початкової кількості води, t_1 – температура, яка встановилася в першому калориметрі. Тоді рівняння теплового балансу мають вигляд:

$$C_K(t_1 - t_K) = C_B(t_B - t_1); \quad (1)$$

$$C_K(t - t_K) = \frac{C_B}{2}(t_1 - t). \quad (2)$$

Підставляючи t_1 з (1) до (2), маємо:

$$C_K t_K + \frac{C_B}{2} \frac{C_K t_K + C_B t_B}{C_K + C_B} = \left(C_K + \frac{C_B}{2} \right) \frac{t_B}{2} \quad (3)$$

(враховано, що $t = 0,5 t_B$). Ввівши безрозмірні змінні, маємо:

$$x = \frac{C_K}{C_B}, \quad a = \frac{t_K}{t_B} = 0,4, \quad (4)$$

перепишімо (3) у такому вигляді:

$$ax + \frac{ax + 1}{2(x + 1)} = \frac{1}{2} \left(x + \frac{1}{2} \right), \quad (5)$$

або

$$4ax(x + 1) + 2(ax + 1) = (2x + 1)(x + 1),$$

чи, в стандартному вигляді,

$$2(2a - 1)x^2 + 3(2a - 1)x + 1 = 0. \quad (6)$$

Ще раз замінимо параметр, позначивши

$$b = \frac{1}{1 - 2a} = 5. \quad (7)$$

Тоді рівняння (6) буде:

$$2x^2 + 3x - b = 0. \quad (8)$$

Корені рівняння (8) мають вигляд:

$$x_{1,2} = \frac{-3 \pm \sqrt{9 + 8b}}{4}. \quad (9)$$

Від'ємний корінь $x_2 = -2,5$ у цьому разі не має фізичного змісту, тому залишається корінь $x_1 = 1$.

Повертаючись до старих позначень, маємо:

$$C_K = \frac{C_B}{4} \left(-3 + \sqrt{9 + 8 \frac{t_B - t}{t - t_K}} \right), \quad (9a)$$

тобто $C_K = 0,21 \text{ кДж/}^\circ\text{С}$.

Зважмо, що упродовж часу встановлення теплового балансу певна кількість теплоти із кожного калориметра пішла в довколишнє середовище. Позначмо кількість теплоти для першого та другого калориметрів відповідно Q_1 та Q_2 . Тепер рівняння (1)–(2) набудуть вигляду:

$$C_K t_K + C_B t_B = (C_K + C_B)t_1 + Q_1; \quad (10)$$

$$C_K t_K + \frac{C_B}{2} t_1 = \left(C_K + \frac{C_B}{2} \right) t + Q_2. \quad (11)$$

Позначмо

$$q_{1,2} = \frac{Q_{1,2}}{C_B t_B}. \quad (12)$$

Тоді замість рівняння (5) отримаємо:

$$ax + \frac{ax + 1 - q_1}{2(x + 1)} = \frac{1}{2} \left(x + \frac{1}{2} \right) + q_2,$$

або

$$2(2a-1)x^2 + [3(2a-1) - 4q_2]x + (1-2q_1 - 4q_2) = 0$$

й остаточно

$$2x^2 + (3 + 4bq_2)x - b(1 - 2q_1 - 4q_2) = 0. \quad (13)$$

Додатний корінь рівняння (13)

$$x_1 = \frac{-(3 + 4bq_2) + \sqrt{(3 + 4bq_2)^2 + 8b(1 - 2q_1 - 4q_2)}}{4} = \frac{-(3 + 20q_2) + \sqrt{(3 + 20q_2)^2 + 40(1 - 2q_1 - 4q_2)}}{4}. \quad (14)$$

Порівнюючи x_1 (14) з $x_{01} = 1$, можна показати, що $x_1 < x_{01}$, тобто врахування втрат тепла справді приведе до зменшення обчисленого значення теплоємності. Справді, з нерівності

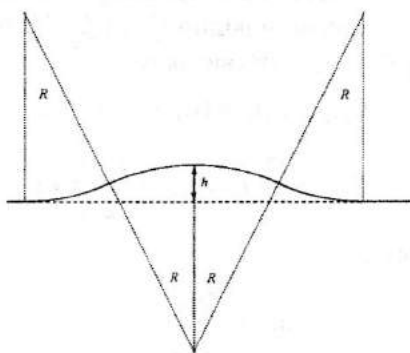
$$4 > -(3 + 20q_2) + \sqrt{(3 + 20q_2)^2 + 40(1 - 2q_1 - 4q_2)}$$

випливає, що

$$16 + 8(3 + 20q_2) > 40(1 - 2q_1 - 4q_2)$$

і остаточно $2q_2 > -q_1 - 2q_2$, що виконується завжди, оскільки $q_{1,2}$ – додатні величини.

Задача 2.



Нехай дуга кола має довжину l , а кут φ . Тоді $l = R\varphi$. З іншого боку, $h/2 = R(1 - \cos \varphi)$, звідки або за допомогою калькулятора, або з наближе-

них формул можна знайти, що кут $\varphi = 0,02$ радіан, а $l = 40$ м. Отже, довжина всієї гірки 160 м, або рівно половина довжини $L = 320$ м потягу з 20 вагонів по 16 м кожний. Коли гірка повністю заповнена вагонами, потяг переїжджає її зі сталою швидкістю v , яку можна знайти із закону збереження енергії:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{1}{2}mg\frac{h}{2},$$

де враховано, що на гірці знаходиться половина потягу, а висота центру мас цієї половини $\frac{h}{2}$.

Отже,

$$v_0 = \sqrt{v^2 + \frac{gh}{2}} > \sqrt{\frac{gh}{2}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Розглянемо рівномірний рух вагонів через гірку з деякою сталою швидкістю v . Тангенціальне пришвидшення вагонів дорівнює нулеві. Для вагона, який піднімається під кутом α до горизонту зі сталою швидкістю, застосуємо другий закон Ньютона. Матимемо, що різниця сил натягу ΔT спрямована вздовж схилу догори і дорівнює проекції сили тяжіння $\Delta mg \sin \alpha$, або

$$\Delta T = \Delta mg \sin \alpha = \frac{mg}{L} \Delta l \sin \alpha = \frac{mg}{L} \Delta h,$$

де Δl – довжина вагону, Δh – проекція довжини вагона на вертикальну вісь, $m = 500$ т – маса всього потягу. Якщо додати аналогічні вирази для всіх вагонів, що знаходяться з одного боку гірки, знайдемо:

$$T_{\uparrow} - T_{\downarrow} = \frac{mgh}{L},$$

де сила натягу в найнижчій точці гірки $T_{\downarrow} = 0$, оскільки горизонтальна дільниця вагонів рухається без пришвидшення. Тоді сила натягу в найвищій точці дорівнюватиме:

$$T_{\uparrow} = \frac{mgh}{L} = 12,5 \text{ кН}.$$

Задача 3.

Побудуємо трикутник, у вершинах якого розташовані бічні дзеркала і водій. Знайдемо внутрішні кути цього трикутника.

$$\beta = 90^\circ - 2 \cdot 15^\circ = 60^\circ.$$

Аналогічно

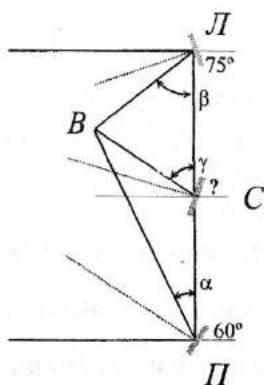
$$\alpha = 90^\circ - 2 \cdot 30^\circ = 30^\circ.$$

Тобто, трикутник, у вершинах якого два зовнішніх дзеркала і водій – прямокутний і такий, в якого один катет дорівнює половині гіпотенузи ($\sin \alpha = 1/2$).

Отже, ближче до водія розміщено зовнішнє дзеркало, поверхня якого утворює кут 75° з напрямком руху автобуса.

Вважаймо, що внутрішнє дзеркало розміщене посеред салону, тоді відрізок, який з'єднує погляд водія і це дзеркало, є медіаною, яку опущено з вершини прямого кута на гіпотенузу.

Отже, трикутник, утворений ЛВС, рівносторонній, тобто $\gamma = \beta = 60^\circ$, і поверхня внутрішнього дзеркала, так як і найближчого до водія зовнішнього, утворює з напрямком руху автобуса кут 75° .



За півхвилини віддаль між водієм і пішоходом збільшиться до $S = (V - v)t = 225$ м. Перед поворотом зображення буде як і раніше віддалятися зі швидкістю $u_1 = V - v = 27$ км/год. Безпосередньо на початку повороту зображення одержує перпендикулярну складову швидкості й починає “відходити в бік”. Кутова швидкість обертання системи відліку $\omega = V/R$. Якщо знехтувати віддаллю між водієм і дзеркалом, то зв’язана з обертан-

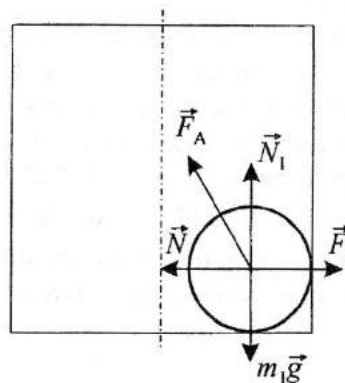
ням переносна швидкість у точці знаходження пішохода буде:

$$u_2 = \omega S = \frac{V}{R}(V - v)t.$$

Знайдемо швидкість зображення відразу після початку повороту за законом додавання швидкостей

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = (V - v)\sqrt{1 + (Vt/R)^2} \approx 124,46 \text{ км/год.}$$

Задача 4.



Розглянемо сталеву кульку в неінерційній системі відліку K , у котрій посудина і рідина перебувають у стані спокою. Її вісь Z нехай збігається з віссю посудини.

На сталеву кульку діятимуть сила тяжіння $m_2\vec{g}$, сили реакції \vec{N}_1 і \vec{N} , сила інерції \vec{F}_i , сила Архімеда \vec{F}_A , яка може мати і горизонтальну складову.

Запишемо умову рівноваги кульки в неінерційній системі відліку K :

$$\vec{N} + \vec{N}_1 + m_2\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_i = 0. \quad (1)$$

Спроектуємо рівняння (1) на горизонтальну площину, одержимо:

$$F_{A_2} = \rho_1 \omega^2 R V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \omega^2 R, \quad (2)$$

де F_{A_2} – горизонтальна складова сили Архімеда, яка дорівнює:

Задача 3.

Побудуймо трикутник, у вершинах якого розташовані бічні дзеркала і водій. Знайдімо внутрішні кути цього трикутника.

$$\beta = 90^\circ - 2 \cdot 15^\circ = 60^\circ.$$

Аналогічно

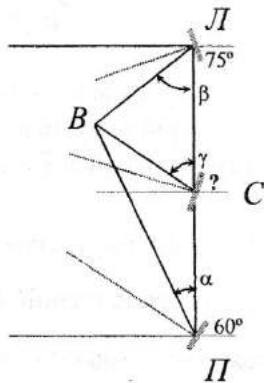
$$\alpha = 90^\circ - 2 \cdot 30^\circ = 30^\circ.$$

Тобто, трикутник, у вершинах якого два зовнішніх дзеркала і водій – прямокутний і такий, в якого один катет дорівнює половині гіпотенузи ($\sin \alpha = 1/2$).

Отже, ближче до водія розміщено зовнішнє дзеркало, поверхня якого утворює кут 75° з напрямом руху автобуса.

Вважаймо, що внутрішнє дзеркало розміщене посеред салону, тоді відрізок, який з'єднує погляд водія і це дзеркало, є медіаною, яку опущено з вершини прямого кута на гіпотенузу.

Отже, трикутник, утворений ЛВС, рівносторонній, тобто $\gamma = \beta = 60^\circ$, і поверхня внутрішнього дзеркала, так як і найближчого до водія зовнішнього, утворює з напрямом руху автобуса кут 75° .



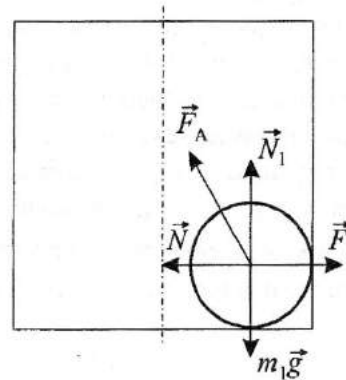
За півхвилини віддаль між водієм і пішоходом збільшиться до $S = (V - v)t = 225$ м. Перед поворотом зображення буде як і раніше віддалятися зі швидкістю $u_1 = V - v = 27$ км/год. Безпосередньо на початку повороту зображення одержує перпендикулярну складову швидкості й починає “відходити в бік”. Кутова швидкість обертання системи відліку $\omega = V/R$. Якщо знехтувати віддаллю між водієм і дзеркалом, то зв’язана з обертан-

ням переносна швидкість у точці знаходження пішохода буде:

$$u_2 = \omega S = \frac{V}{R}(V - v)t.$$

Знайдімо швидкість зображення відразу після початку повороту за законом додавання швидкостей

$$\begin{aligned} u &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \\ &= (V - v)\sqrt{1 + (Vt/R)^2} \approx 124,46 \text{ км/год.} \end{aligned}$$

Задача 4.


Розглянемо сталеву кульку в неінерційній системі відліку K , у котрій посудина і рідина перебувають у стані спокою. Її вісь Z нехай збігається з віссю посудини.

На сталеву кульку діятимуть сила тяжіння $m_2\vec{g}$, сили реакції \vec{N}_1 і \vec{N} , сила інерції \vec{F}_i , сила Архімеда \vec{F}_A , яка може мати і горизонтальну складову.

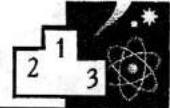
Запишемо умову рівноваги кульки в неінерційній системі відліку K :

$$\vec{N} + \vec{N}_1 + m_2\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_i = 0. \quad (1)$$

Спростуємо рівняння (1) на горизонтальну площину, одержимо:

$$F_{A_z} = \rho_1 \omega^2 R V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \omega^2 R, \quad (2)$$

де F_{A_z} – горизонтальна складову сили Архімеда, яка дорівнює:

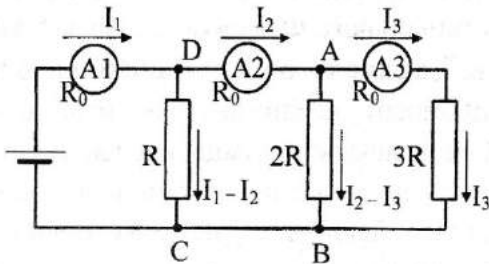


$$F_{A_2} = \rho_1 \omega^2 R V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_1 \omega^2 R.$$

Із формули (2) знаходимо:

$$N = 4(\rho_2 - \rho_1) \pi r^3 \omega^2 R / 3.$$

Задача 5.



Позначмо опір амперметра через R_0 . За схемою

$$U_{AB} = I_3(3R + R_0).$$

Можна записати:

$$U_{AB} = I_3(3R + R_0); \quad I_2 = I_3 + \frac{I_3(3R + R_0)}{2R}. \quad (1)$$

Напруга між точками C і D дорівнює:

$$U_{CD} = U_{AB} + I_2 R_0 = I_3(3R + R_0) + I_2 R_0,$$

отже,

$$I_1 = I_2 + \frac{I_3(3R + R_0) + I_2 R_0}{R}. \quad (2)$$

Із (1) отримуємо

$$\frac{R_0}{R} = 2 \frac{I_2}{I_3} - 5. \quad (3)$$

Із (2) отримуємо

$$I_1 = I_2 + 3I_3 + I_3 \frac{R_0}{R} + I_2 \frac{R_0}{R}. \quad (4)$$

Підставимо (3) в (4):

$$2I_2^2 - 2I_3 \cdot I_2 - (2I_3 + I_1)I_3 = 0,$$

звідки

$$I_2 = \frac{I_3 + \sqrt{I_3^2 + 2I_3(2I_3 + I_1)}}{2} = 3 \text{ мА}.$$

НАСА довела правоту Айнштейна

За 90 років після того, як Айнштейн створив свою знамениту спеціальну теорію відносності, зонд, який запустило НАСА довів, що Всесвіт поводиться саме так, як і передбачав великий фізик. Нині починають другу частину проекту, спрямованого на те, щоб довести, що положення загальної теорії відносності також справедливі.

В Оксфордському словнику англійської мови в статті про Айнштейна написано: геній. Проте упродовж десятиріч фізики задають запитання: а чи не помилився все ж Альберт Айнштейн?

Сьогодні нарешті підтвердилося те, що він зміг досягнути силою розуму. Перші результати, які одержано за допомогою одного з найскладніших супутників НАСА, який “з точністю до одного відсотка” підтвердив правильність твердження Айнштейна, що такі об’єкти як Земля спотворюють структуру простору-часу.

Але все що відноситься до “геодезичної дії” – це лише половина теорії. Інша – “теорія вихору” – свідчить, що в процесі обертання Землі й інших планет вони тягнуть за собою матерію Всесвіту.

Професор Стенфордського університету Френсіс Еверітт, який присвятив своє життя дослідженню теорії відносності Айнштейна, зазначає, що ученим із Американського фізичного товариства буде потрібно ще, як мінімум, вісім місяців для точного розрахунку ефекту “вихору”.

Створюючи загальну теорію відносності, Айнштейн по новому описав гравітацію. Це була не сила, як вважав Ісаак Ньютон, а спотворення простору і часу, які виступали як єдина складова – простір-час. Будь-який об’єкт спотворює структуру простору – часу, і що більша його маса, то більша його дія.

За його теорією, планети, що рухаються навколо Сонця, не притягуються ним, вони лише слідуєть за деформацією викривленого Сонцем простору-часу. А причина, через яку планети не можуть впасти на поверхню Сонця, – це швидкість, з якою вони рухаються.

Найважливіший прилад, який встановили на супутнику НАСА, були чотири спеціальні гіроскопи. Це ідеально гладкі сфери, охолоджені майже до абсолютного нуля. Вони підвішені у вакуумі в електромагнетному полі.

Це найточніші (по відхиленню поверхні від ідеальної сфери) кулі, коли-небудь створені людиною. Чутливість цих гіроскопів у 30 мільйонів раз більша, ніж у будь-якому іншому існуючому гіроскопі.

Саме зміни в обертанні цих сфер й уловлювала автоматика супутника.



ПЕРЕВОРОТ У НАУЦІ

Члени Академії наук уже збиралися. Кожен з них тримав у руках невеличку книжечку – короткий опис дослідних робіт професора Трушкіна. Поважні вчені проходили вздовж зали і займали місця на м'яких кріслах, що довгими рядами були розміщені по обидва боки зали.

Лісі голови заглиблено схилились над книжками.

Аж ось з дверей бічної стіни зали вийшли люди і сіли за довгим червоним столом. Тут були бородаті і безбороді, лісі і чубаті, гладкі й тоненькі, в окулярах і без окулярів, пристаркуваті й порівняно молоді.

Віце-президент Академії наук, який сів на середині столу, якраз проти бюсту Сталіна, оголосив, що обговорення дослідів дійсного члена академії наук, професора біології і фізіології Івана Івановича Трушкіна починається.

За кафедру вийшов сам Трушкін, такий же гладкий, лисий і бородатий, як більшість у залі.

Він оберся ліктями об кафедру, крякнув двічі і почав:

“Шановні мої колеги! Свої досліді я проводжу уже 24 роки. Перед вами ось у молоці знаходиться триста сорок дев'ять щітка, яку я піддаю експертизі. Свої досліді, шановні мої колеги, я розпочав після глибокого і ґрунтовного студіювання творів класиків марксизму-ленінізму. Я поставив перед собою мету: з субстанції мертвої матерії створити субстанцію живої матерії. Приводом до обрання саме цього об'єкта, а саме щітки для чобіт,

було глибоке вивчення мною безсмертного твору геніального Фрідріха Енгельса “Анти-Дюрінг”, а саме того місця (безсумнівно всім вам відомого), де Енгельс говорить, що при самій лише людській думці (мисленню) щітка для чобіт не може перетворитися у савця. Дедалі заглиблюючись у ці слова, висловлені генієм матеріалізму, я щораз задумувався над тим, що саме може привести до перетворення щітки на савця. Безсумнівно, що самого лише нашого бажання мало для цього. Після довгих міркувань я прийшов до висновку, що для того, щоб щітка перетворилася на савця, треба змінити оточення, бо матеріялістична діалектика нам підказує, що зі зміною оточення відбувається зміна видів. І я це оточення змінив. Приймаючи до уваги те, що всі савці виростають на молоці, я помістив щітку в молоко. Але цього виявилось мало. Молоко треба завжди підтримувати в температурі, природній для самки савця. Найменше відхилення вело до зриву досліді. Цим, власне, і пояснюється, дорогі мої колеги, така велика кількість моїх невдалих дослідів.

Але, мої дорогі колеги, з'ясувалось, що не всяке молоко сприятливо впливає на розвиток щітки навіть при відповідній температурі. Наприклад, молоко корови або кози ніяк не підходить, бо ці тварини своїм складом організму дуже віддалені від щітки. Я брав молоко свині, і з'ясувалось, що воно уже набагато сприятливіше впливало на розвиток щітки, ніж молоко корови чи кози. Останнім часом я прийшов до висновку, дорогі колеги, що найсприятливішим для розвитку щітки є молоко



їжака (тобто, вибачайте, їжачихи), позаяк щітка і їжак між собою мають багато спорідненостей. Щітка так само, як і їжак, не має хвоста, у щітки так само, як і в їжака, покритий тільки верх щетиною, а спід голий. Їжак, дорогі колеги, фактично не набагато рухливіший від щітки.

Перед вами, шановні мої колеги, щітка, яка пробула у їжачому молоці 23 дні, вона вже наближена до живого організму. Вона, шановні колеги, здатна відповідати на подразнення! Якщо цю щітку штовхнути у рідину, то вона швидко виринає на поверхню.”

При цьому Трушкін взяв невеличку паличку, що лежала на столику, і штовхнув нею щітку в молоко. Щітка швидко виринула, і закрутилася зверх молока. Від здивування усі повитягали голови, а деякі з них навіть повставали з місць.

– Але, дорогі товариші, – вів далі Трушкін, – саме тут я наткнувся на великі труднощі. І саме на це я звертаю увагу адміністрації нашої Академії, представників партії та нашого уряду, присутніх тут. Позаяк добування їжачого молока вимагає багато праці і великих коштів, ті дев’ять асистентів, які працюють у мене,

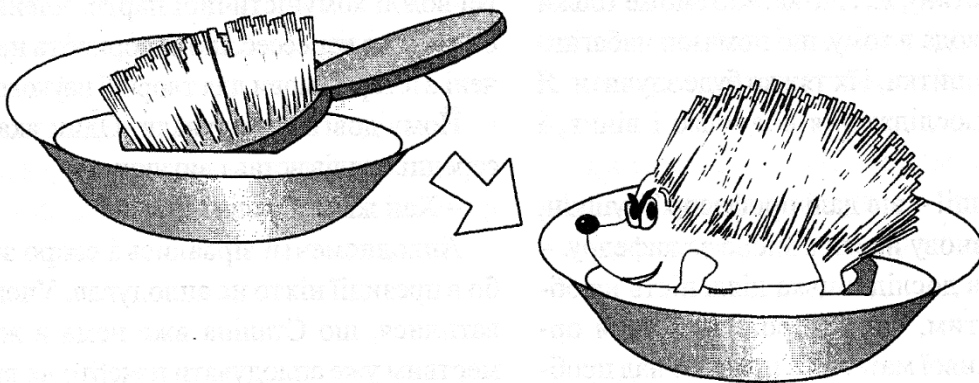
ніяк не можуть справитися з цим завданням. Треба збільшити обслуговуючий персонал не менше як утворює. Асигнування на мої дослідження потрібно також збільшити втворює.

Шановні мої колеги! В тому, що в найближчому часі я вирощу живий організм, сумнівів ніяких не може бути. Мене тепер турбує інше питання. Оживлена щітка, безперечно, буде здатна до запліднення та розмноження. Оскільки вона жіночого роду, це буде самка. Треба вибрати ще якийсь об’єкт, з якого можна було б вивести самця. І тут, дорогі колеги, я звертаюся до вас за порадою.”

Трушкін зупинився. Якась хвилина мертвої мовчанки запала в залі. Нарешті з перших рядів підвівся довгобородий лисий академік, фахівець з фізіологічних наук.

– На мою думку, за самця треба взяти чобіт, – сказав він поважним басом.

– Ваша порада, Михайле Івановичу, – відповів йому Трушкін, – справді раціональна, позаяк щітка має природну постійну тягу до чобіт. Але я думаю, що після злучення щітки з чоботом народяться нежиттєтривалі гібриди, оскільки щітка належить до зовсім іншої породи, ніж чобіт. Щітка наполовину вкрита щетиною, тоді як чобіт зовсім голий.





– На мою думку, треба взяти решето, – запропонував хтось з середніх рядів.

– Решето, Іване Макаровичу, – відповів Трушкін, – не підійде з тієї причини, що воно не чоловічого роду, отже, воно не буде здатне до запліднення.

– А на мою думку, слід взяти вам віника за самця, – знов з передніх рядів запропонував якийсь академік.

– Ось це пропозиція мені подобається, задоволено заговорив Трушкін. – Віник справді має багато спільного із щіткою. Я ваше пропозиція, Микито Івановичу, з задоволенням приймаю і дуже вам за нього дякую.”

Микита Іванович із задоволенням повертає всібіч круглою головою на своїй товстій шиї, як переможець на важких змаганнях.

Тим часом із задніх рядів підвівся худенький змарнілий дідок. Обличчя й голова його були начисто виголені, і весь він нагадував необросле пір'ям пташеня у гнізді. Він несміливо заговорив тоненьким голосом:

– На мою думку, Іване Івановичу, вам слід би було взяти за самця щітки помазок, звичайний помазок для гоління. Він багато має спільного зі щіткою

– Ось це пропозиція, можна сказати, найраціональніше, – радів Трушкін. Воно справді глибоко обдумане, бо ж помазок має таку саму щетину, як і щітка. Хіба може тільки бути перешкода в тому, що помазок набагато менший від щітки, і їх важко буде злучити. Я візьму під дослідження водночас і віник, і помазок.

– Товариші! – вів далі професор Трушкін, зайшовши знову на своє місце за кафедру. – Моя наукова дослідницька діяльність не обмежується тим, що я вирощую живий організм з неживої матерії. Я працюю над проблемою продовження людського віку. Ви уявляєте, дорогі мої колеги, як це важливо для

нас, мужів науки, звичайного людського віку. Із своїх спостережень я прийшов до висновку, що людина так коротко живе на світі через те, що вона вживає в свій харч недовговічні рослини і тварини. І, справді, що ми їмо? Ми їмо капусту, яка росте всього лише одне літо, хліб з пшениці, яка також виростає за півроку, буряки, картоплю – все недовговічне, м'ясо курки, що живе три-чотири роки, м'ясо свині, що живе один-півтора року, і таке інше, і таке інше. А ось така маленька істота як блошиця, живиться людською кров'ю і тому перевищує вік життя людини. Я прийшов до висновку, що для того, щоб люди жили набагато довше, ніж тепер, їм слід харчуватися довговічними рослинами. Такою довговічною рослиною, яку я можу порекомендувати людству, є дуб, який може рости до тисячі років.

Я, дорогі мої колеги, уже проводжу дослідження над самим собою. Я, шановні мої друзі, їм дубову кору. Дубова кора зараз уже становить 50 відсотків моєї їжі. І сподіваюся, що скоро я зможу перейти на харчування лише дубовою корою.”

Закінчив свій виступ Трушкін хвалою комуністичної партії.

– Хай живе безсмертне вчення Маркса-Енгельса-Леніна-Сталіна, яке дає нам натхнення у наших наукових подвигах! Хай живуть усі вожді комуністичної партії, члени політбюро цека капесес, що створюють нам небачені в історії умови для творчої наукової праці.

Йому довго аплодували. Один академік з середніх рядів встав і вигукнув:

– Хай живе Сталін!

Аплодисменти зірвались і скоро затихли, бо в президії ніхто не аплодував. Учені спохватилися, що Сталіна вже нема в живих, а мертвим уже аплодувати начебто не випадає!

Коли зала впухла, віце-президент оголосив, що слово надається представникові цека



капееес, докторові філософських наук Кіму Семеновичу Дубініну.

Кім Семенович зайшов за кафедру, обвів скляними очима, аудиторію, начебто не надивився він на неї, сидючи в президії, і почав:

“Товариші! Я думаю, що ми спроможні достойно оцінити той науковий подвиг, який робить наш видатний учений Іван Іванович Трушкін. Той факт, що професор Трушкін заснував усю свою наукову роботу на основі матеріалістичної науки, говорить про безсмертну силу марксистсько-ленінського вчення. Досягнення професора Трушкіна – це теорія Маркса-Енгельса-Леніна-Сталіна в її дії. Тільки на основі цієї теорії, тільки на основі матеріалістичного світорозуміння, яке дає нам марксизм, ми можемо досягти таких величезних досягнень нашої науки, які ми бачили сьогодні.

Відкриття професора Трушкіна – це цілий переворот у біологічній та філологічній науках. Водночас професор Трушкін своїми дослідженнями вкладає в руки діелектричного матеріалізму найгострішу зброю проти його ворогів. Це те, чого давно бракувало нашій теорії. Тепер остаточно і безповоротно буде скинено в безодню ідеалістичну філософію, яка стверджувала, що живі організми походять не від неживої, а створені якоюсь надприродною силою. Тепер остаточно буде спростовано твердження метафізиків про непорушність неживої матерії.

Я вважаю, що в цей момент керівництво Академії наук має найбільше уваги приділити саме тим дослідженням, які проводить професор Трушкін, оскільки вони підносять на найви-

щий шабель марксистсько-ленінську матеріалістичну науку. З боку партії і уряду буде виявлено всебічну допомогу професору Трушкіну. На мою думку, кандидатуру професора Трушкіна слід подати до нагородження Сталінською премією першого ступеня. Законні вимоги Івана Івановича треба негайно задовольнити.

Хай живе наша рідна комуністична партія – натхненник всіх наших перемог!”

Дубінінові аплодували ще дужче, ніж Трушкінові. Кілька разів вставали всі як один і вигукували хвалу вождям партії, і аплодували з новою силою. Так тривало півгодини.

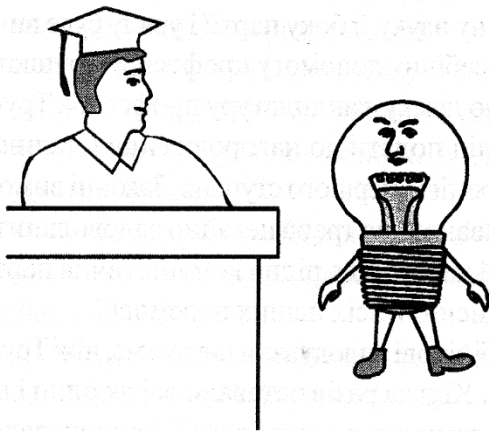
Коли аудиторія стихла, віце-президент оголосив закінчення обговорення дослідів професора Трушкіна, і всі покидали свої місця. Ідучи до виходу, лисі сивобороді вчені виказували один одному здивування з приводу того, як професорові Трушкіну вдалося досягти таких звичних результатів.

– Праця, колеги, уперта праця, невідступність від наміченої мети приносять людині всевітню славу, – стверджував один низькорослий гладкий академік.

– І глибоке знання марксизму-ленінізму, – додав другий, довготелесий.

За місяць у цій самій залі знову зібралися члени Академії наук, але всі вони цього разу були сумні, йшли з похиленими головами. Тут був траурний мітинг з нагоди передчасної смерті академіка Івана Івановича Трушкіна. Він помер від скруту кишок, об’ївшись дубової кори.

Проте справу Івана Івановича Трушкіна зголосились продовжувати кільканадцять найвидатніших біологів та фізіологів.



СУДОВИЙ ПРОЦЕС НАД... електролампочкою

Нові ідеї часто насилу завойовують свідомість людей. Тому поборникам нового деколи доводилося навіть використовувати судовий процес з обвинувачами, захисниками і суддями, щоб довести свою слушність. Наприклад, ще 1785 року А. Лавуазьє влаштував судовий процес над теорією флогістона, фіналом якого була церемонія спалювання книжки німецького лікаря Г. Штала – засновника цієї теорії.

Дивно, але саме за допомогою судового процесу довелося доводити широкому загалові, здавалося б навіть очевидні переваги електричного освітлення. Для цього в березні 1879 року англійський парламент створив комісію, яка мала припинити безглузді плітки, що їх поширювали конкуренти – газові компанії.

Комісія мала великі повноваження: вона могла викликати будь-яких свідків, подібно, як їх викликають до суду. Дізнання проводили так само, як судові слідство.

Відповідачем була “електрика”.

Свідки розповідали про її властивості, стенографісти ретельно записували їхні свідчення. Члени комісії займали суддівські місця. Стіл речових доказів був закиданий різними електричними приладами, з якими тут же проводили досліди. На стінах було повно креслень і діаграм.

Головою комісії обрали Л. Плейфера – професора хемії. Строго дотримуючись процедури суду, комісія “допитала” свідків захисту – відомих уче-

них Тиндала, Томсона, Приса, Сименса, Кука та інших.

Кумедні були докази свідків звинувачення. На думку художників, електричне світло “холодне і дає мало експресії”.

Англійські леді вважали, що воно додає “якусь мертвотність обличчю й до того ж ускладнює вибір одягу, оскільки костюми, що освітлені електричним світлом, видаються іншими, ніж при денному світлі”.

Торговці Біллінгсетського ринку скаржилися на те, що “електричне світло дає поганий вигляд риби й просили зняти влаштоване у них освітлення”. Багато хто скаржився на різь в очах, миготіння світла.

Свідки захисту терпляче пояснювали, що треба дивитися не на ліхтарі, а на освітлені предмети, що “дивитися прямо на сонце ще болючіше, але ніхто не ставить це у вину сонячному світлу”. Що мертвенність обличчя зауважують лише “при змішуванні газового світла з електричним”. Що “миготіння” дуги в лампах – від неякісно виготовлених електродів.

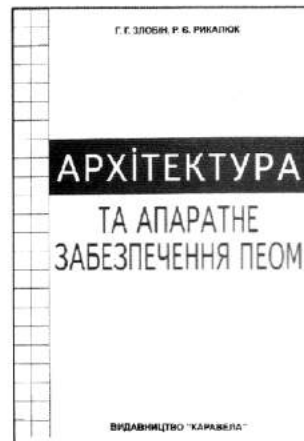
Комісія ухвалила, що електричне світло вийшло з межі дослідів та проб і йому треба дати змогу конкурувати з “газовим світлом”, і заборонила впроваджувати електричне освітлення газовим компаніям, “як некомпетентним у питаннях електротехніки”.

Щодо економічності, то електротехніці належало пройти ще тривалий шлях до створення великих електричних станцій, ліній передач і розподільних пристроїв. Але зелене світло йому було “юридично відкрито”.

Злобін Г. Г., Рикалюк Р. Є. Архітектура та апаратне забезпечення ПЕОМ: /Навчальний посібник. – Київ: Каравела, 2006. – 304 с

У навчальному посібнику викладено історія розвитку комп'ютерної техніки, основи алгебри логіки, головна елементарна база сучасних ПЕОМ. Розглянуто принципи роботи сучасних процесорів, запам'ятовувальних та периферійних пристроїв, систему шин, базову систему вводу/виводу. Подано інформацію про апаратне забезпечення ПЕОМ: відеосистему, дискову підсистему, обладнання для локальних та глобальних мереж та засоби Multimedia.

Для студентів природничих та технічних факультетів вищих навчальних закладів та всіх, хто цікавиться інформатикою та обчислювальною технікою.



Злобін Г. Г. Основи інформатики, комп'ютерної техніки і комп'ютерних технологій (для студентів економічних спеціальностей): /Підручник. – Київ: Каравела, 2007. – 240 с.



Підручник містить сім частин: 1. Основи інформатики; 2. Системне програмне забезпечення; 3. Прикладне програмне забезпечення для IBM-подібних ПЕОМ; 4. Захист інформації (даних) на ПЕОМ. 5. Використання інформаційних технологій в економічній діяльності; 6. Навчаючі системи; 7. Завдання до практичних занять. У першій системі підручника розглянуто класифікацію сучасних ЕОМ і програмного забезпечення для них та кодування і шифрування даних у ПЕОМ. Друга частина містить відомості про операційні системи Microsoft Windows XP Professional і Linux, методи роботи з графічним інтерфейсом і командним рядком. У третій частині розглянуто офісні пакети OpenOffice.org, Microsoft Office 2003, редактор растрової графіки Gimp, систему оптичного розпізнавання тексту Fine Reader, машинний переклад тексту, інформаційно-пошукові системи і програми для роботи в глобальній мережі Інтернет.

Для студентів економічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Приймаємо замовлення за адресою:
 "Євросвіт", м. Львів, 79005, а/с 6700;
 Phworld@franko.lviv.ua

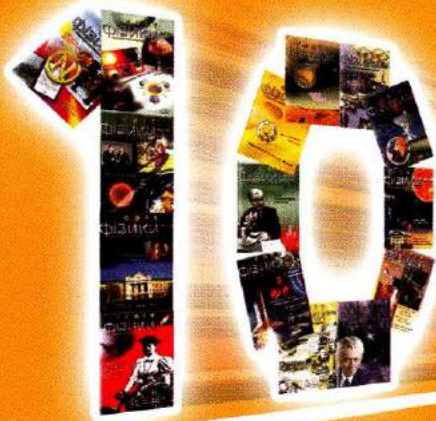


С. Гебус-Баранецька
(Нар. 1905)
Пряля, 1972. Дереворит

Вагомий внесок в українську графіку зробила С. Гебус-Баранецька. Її твори відзначаються особливою тематикою та пластичною манерою рисунка. Дереворитам С. Гебус-Баранецької властива репортажність зображення, простий підбір композиційних елементів. Водночас твори Гебус-Баранецької засвідчують властивий їй «спокійний, умиротворений погляд на світ». Натурний матеріал у них

відзначається сюжетною спрощеністю, статичністю. В контексті цього цілком виправдані окремі деталі, які приземлюють і конкретизують зображення. Як майстер деревориту художниця багато уваги приділяла проблемі чорного і білого тонів, які для графіки мають позачергове значення. Однак формальний прийом контрасту вона не зводить в абсолют, а часто комбінує з багатофактурністю, яку допускає техніка гравюри на дереві.

**2007 – ювілейний для журналу "Світ фізики".
Рік цікавих несподіванок для читачів!**



РОКІВ

**Не забудьте передплатити журнал "Світ фізики"
Передплатний індекс 22577**

