

С В І Т

Фізики

науково-популярний журнал

№2
2008



Промінь веселки

Сонячне світло

51°

Відбивання

Заломлення

Відбивання

Заломлення

**VII з'їзд
Українського
фізичного товариства**

Спостерігач

VII з'їзд Українського фізичного товариства



*Делегати VII з'їзду
Українського фізичного товариства*



*Віце-президент НАН України,
академік А. Г. Наумовець*



Дискусія в колуарах з'їзду



С В І Т Ф І З И К И

науково-популярний журнал

2(42)'2008

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@ktf.franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

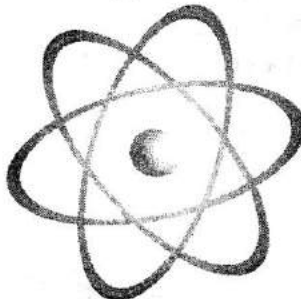
"Суспільство, в якому освіта й наука є реальними пріоритетами державної політики, завжди, врешті-решт, досягає успіху, оскільки якість життя людей перебуває в прямій залежності від якості здобутих і засвоєних ними знань.

Вища освіта саме і покликана виводити кожного, хто бажає здобути її, на такий рівень про довколишній світ і людину, з якого можна починати активну працю у вибраній діяльності інтелектуальної діяльності, і, зокрема, творити нові знання для забезпечення нового поступу.

Цьогорічне всеохопне зовнішнє незалежне оцінювання стало випробуванням не лише для вступників до вищих навчальних закладів, а й для всього українського суспільства. Воно стало свідченням високого рівня нашої академічної культури та суспільної відповідальності вищих навчальних закладів.

Це був іспит на громадянську зрілість, національну гідність і готовність не лише декларувати та пропагувати демократичні зміни, а й діяти на користь національним інтересам своєї держави. За останні роки це найбільш суспільно значуща і за масштабами, так і за складністю, реформа в українській освіті, яка має стратегічний характер і спричинить глибокі позитивні зміни в нашому житті..."

Іван Вакарчук,
міністр освіти і науки
України



**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

Локтев Вадим. Теоретична фізика: яка вона є

3

2. Нобелівські лавреати

Шопа Галина. Двічі Нобелівський лавреат з фізики – Джон Бардін

11

3. Актуальні проблеми...

VII з'їзд Українського фізичного товариства

17

4. Олімпіади, турніри...

Умови задач XLV Всеукраїнської олімпіади з фізики (Вінниця, 2008)

19

Умови задач XVII Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків 2008/2009 навчального року
Орлянський Олег. Правила руху у розв'язанні задач із фізики

25

25

Розв'язки задач XLV Всеукраїнської олімпіади з фізики (Вінниця, 2008; 8–10 класи)

31

5. Інформація

Великий адронний колайдер готують до запуску

45

Програма космічних досліджень НАСА

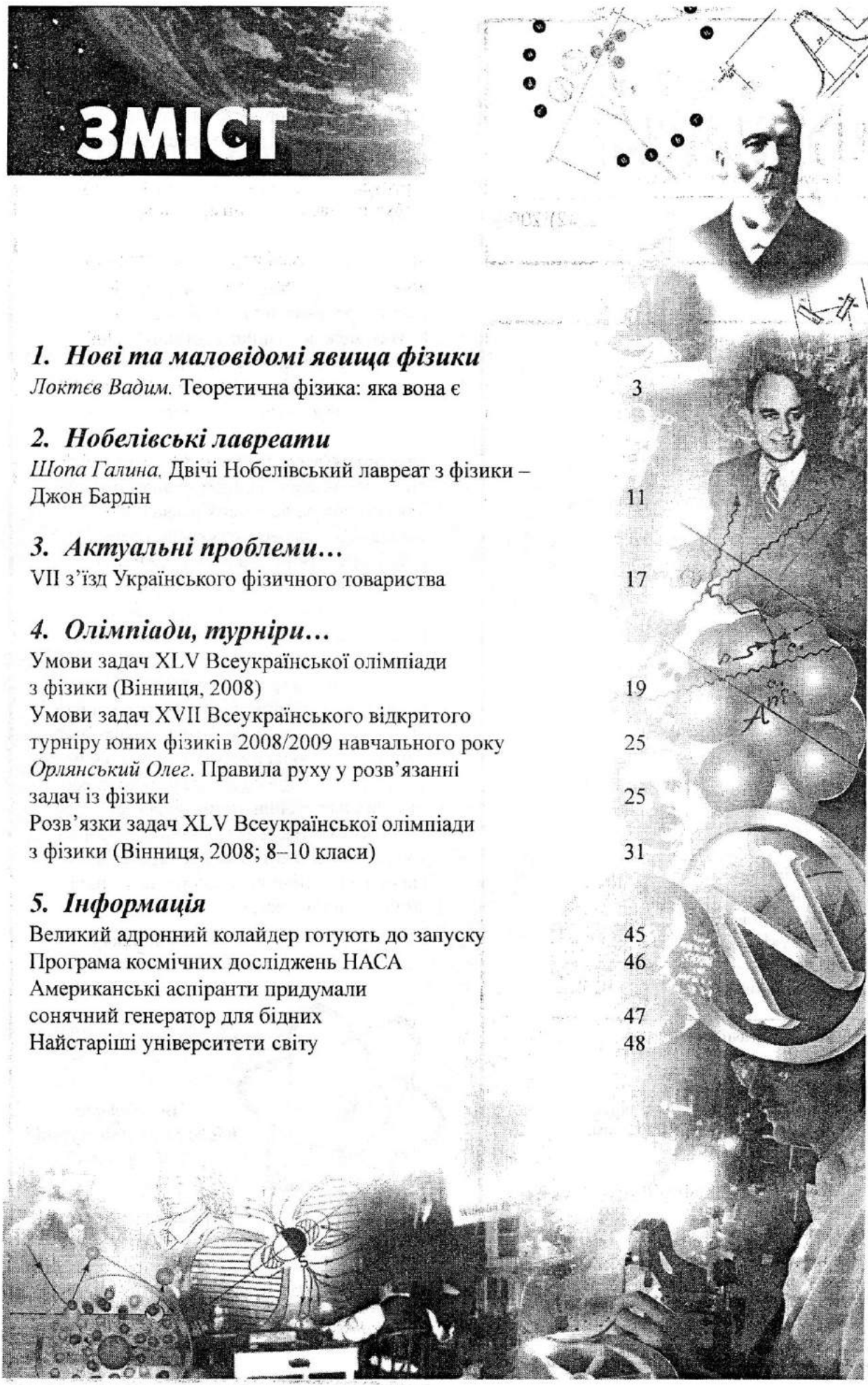
46

Американські аспіранти придумали сонячний генератор для бідних

47

Найстаріші університети світу

48





ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА: ЯКА ВОНА Є

Вадим Локтєв,

академік Національної академії наук України

Що таке теоретична фізика

Перед тим, як розпочати розмову про теоретичну фізику, гадаю, слушно сказати декілька слів про фізику загалом. Це одна із так званих *природничих* світоглядних наук, яка непогано піддається формалізації: спостережувані явища, встановлені закони можуть бути виражені математичною мовою у вигляді формул чи рівнянь, які дають змогу кількісно описати відповідні явища. Справді, дослідження будь-якого процесу, що часто-густо починається з прямого чи непрямого експериментального спостереження, фізики намагаються довести до осмислення, яке б допомогло зрозуміти причини поведінки тих чи інших величин, знайти співвідношення між ними.

Подібні намагання і є першим кроком до виходу на теоретичний рівень. Потім, коли зв'язки між спостережуваними явищами стають зрозумілими, дослідження приймає деяку закінчену форму і переходить до класу таких, які вже можна продовжувати теоретичними методами, головними серед яких є, безумовно, математичні. До того ж, з усіх природничих наук фізика, мабуть, найбільш математизована. Власне, загалом потреба використання глибоких математичних методів для розв'язку фізичних задач і зумовила "розділ фізики на дві, значною мірою, окремі науки" – експериментальну фізику, яка за допомогою своїх пристроїв, приладів тощо вивчає закономірності, притаманні існуючим у світі формам матерії, а також створює такі нові її форми, які у земних умовах не спостерігаються, і теоретичну фізику, яка математично відображає закономірності руху і співіснування різних форм матерії та передбачає для

них нові явища. Отже, навіть сама теоретична фізика має дві іпостасі. З одного боку, це найповніший і просунутий спосіб отримання та узагальнення інформації про фізичні явища, а з іншої, це метод дослідження цих явищ та найглибших зв'язків між ними.

Можна без усякого перебільшення стверджувати, що теоретична фізика є величезним досягненням людської культури. Її вплив на сучасну цивілізацію надзвичайно великий і він не лише в тому, що теоретична фізика – найважливіша складова фундаменту нових технологій у другій половині ХХ сторіччя, а й у формуванні сучасного світогляду. Такі філософські категорії, як причинність, випадковість, детермінізм і багато-багато інших наповнились завдяки розвитку теоретичних поглядів новим глибоким змістом. До цього можна додати, що кінцевою метою більшості досліджень у фізиці є побудова послідовної теорії, бо всі давно і добре засвоїли, що нема нічого практичнішого, ніж добра теорія. Чому? Тому що теорія становить підґрунтя будь-якої науки, а як говорив один із творців водневої зброї американський фізик Едвард Теллер, те, що сьогодні наука, – завтра техніка.¹

¹ Гадаю, читачам буде цікавим також дізнатися, що радянський фізик Олександр Кітайгородський розділяв теорії на три класи: теорії I-го класу передбачають, II-го – накладають обмеження, а III-го – пояснюють заднім числом, тобто інтерпретують відомі експериментальні факти.



XX сторіччя для теоретичної фізики виявилось по-справжньому золотим. За 100 років була створена абсолютно нова наука, контури якої навіть неможливо було передбачити із сторіччя минулого, або XIX. Проте в наш час вже добре простежуються основні лінії розвитку цієї науки в сторіччі, що розпочалося, хоча, впевнений, будь-які передбачення щодо розвитку такої науки, як теоретична фізика, дуже ризиковані: у науці часто виникають несподіванки та круті повороти.

Завдання, яка стоїть переді мною, – дати деякі уявлення про шлях, яким рухалася теоретична фізика впродовж останніх ста років, та про її основні досягнення. До того ж у будь-якій статті обмеженого обсягу дуже важко дати послідовний і відносно повний історико-науковий аналіз, тому відбір матеріалу досить суб'єктивний і неминуче відображає уявлення та розуміння того чи іншого питання самим автором. Але інакше, з мого погляду, неможливо.

Від класики до квантування

Як відомо, наприкінці XIX сторіччя остаточно сформувався низка фізичних теорій, що склали фундамент класичної фізики. Це механіка, термодинаміка, статистична фізика, електродинаміка. У кожній з них були встановлені фундаментальні рівняння – Ісаака Ньютона, Джеймса Максвелла, Людвіга Больцмана та інші. Вони давали змогу не лише якісно, а й кількісно описувати спостережувальні явища оточуючого світу. До того ж, на базі розв'язків одержаних рівнянь вдавалося передбачати і нові явища, розуміти їх протікання та послідовність. Отже, вже тоді виникло поняття “теоретична фізика” як самостійний інструмент вивчення природи разом з експериментом і “теоретик” як окремий рід занять наукою. Успіхи фізики (можна враховувати і теоретичну фізику) були настільки великі, що з'явився жарт: єдине, що залишилося у фізиці – це з'ясувати, чому гудуть проводи.

Класичний період фізики закінчився на початку XX сторіччя створенням Альбертом Ейнштейном спеціальної теорії відносності. Ця теорія, що враховує скінченність швидкості розповсюдження

світлового сигналу, поклала край використанню поняття ефіру та встановила внутрішній взаємозв'язок простору і часу, які у ньютонівській механіці вважалися і були незалежними. І цей зв'язок виявилась набагато глибшою, ніж та, що міститься у наказі армійського командира своїм підлеглим: “Копайте яму від паркану до обіду”. Важливо, що теорія відносності не відкинула ньютонівську механіку, але визначила область її застосування – малі порівняно зі світловою швидкістю руху матеріальних тіл. І як з'ясувалося згодом, теорія відносності абсолютно потрібна у фізиці ядра та ядерних реакцій, а також фізиці елементарних частинок, де типові швидкості можуть наближатися до світлової.

Проте період милування могутніми досягненнями класичної фізики був недовгим. На початку XX сторіччя були відкриті явища, які ніяк не можна було пояснити з позицій існуючих теорій. Головним чином вони виявилися у оптичних експериментах: у появі дискретних ліній у неперервному спектрі випромінювання підігрітих газів та в аномаліях частотного спектру абсолютно чорного тіла. Німецький теоретик Макс Планк був першим, хто запропонував принципово нову і таку, що не узгоджувалась з класичною фізикою, ідею про те, що електромагнетне випромінювання має структуру та існує у вигляді квантів (можна сказати, порцій) з енергією, що пропорційна частоті. Коефіцієнт пропорційності отримав назву сталої Планка, яка тепер входить у відносно невеликий ряд фундаментальних світових сталих, що визначають будову і спостережуваний нами вигляд Всесвіту. Ідею Планка незабаром використав Альберт Ейнштейн для пояснення фотоелектричного ефекту, а також датський теоретик Нільс Бор для пояснення дискретності випромінювальних спектрів атомів. У цих працях ідея про кванти була просунута у нові явища, де виявилась надзвичайно плідною. Щось у загадкових, на перший погляд, явищах було нащупане правильно і це “щось” – квантування рухів на атомних масштабах. Хоча говорити про викриття загальних закономірностей було б передчасно.

Відтоді пройшло досить багато часу, коли 1926 року з'явилося основне рівняння квантової (як стали називати нову, на відміну від класичної,



науку) механіки – рівняння Шредінгера. Воно описувало поведінку частинок або складніших систем у довільному полі. Сам принцип опису радикально відрізнявся від такого у класиці. Якщо у останній мова йшла про знаходження траєкторії, то у квантовому описі навіть нема такого поняття, оскільки має місце принцип невизначеності: неможливо одночасно точно виміряти і імпульс частинки, і її координату. Інша суттєва відмінність – опис руху частинок має ймовірний характер, і само рівняння Шредінгера пишеться не для імпульсу або координати, а для деякої “хвильової функції”, що визначає міру ймовірності знайти частинку у заданій точці простору. Цей недетерміністичний у класичному розумінні характер поведінки квантових об’єктів повною мірою узгоджується з новими уявленнями для них у квантовій механіці: будь-яка частинка одночасно виявляє риси і корпускули (тобто матеріальної точки), і хвилі. Такий дуалізм – принципово нова властивість мікрооб’єктів, що розкрита саме квантовою механікою.

Розв’язок рівняння Шредінгера для найпростішої мікросистеми – атому водню відкривало триумфальний хід нової науки у різних галузях фізики, а також хімії. Так, завдяки цьому розв’язкові з урахуванням принципу Паулі (або неможливість двом електронам займати один і той же квантовий стан) вдалося зрозуміти будову будь-якого атому та пояснити періодичний закон Д. І. Менделєєва.

Всі рівняння квантової механіки містять квантову сталу, про яку вже йшлося – сталу Планка. Якщо її спрямувати до нуля, то можна перейти до класичного опису. Це знов-таки свідчить, що квантова механіка не відкидає класичну фізику, а лише встановлює межі її застосування. Ми вже згадували, що рівняння релятивістської механіки враховують швидкість світла, і якщо її спрямувати до безмежності, то вони автоматично переходять у рівняння Ньютона. Постає запитання: а чи можливо сформулювати теорію, у якій одночасно були б присутні і стала Планка, і швидкість світла. З’ясовується, можливо – 1928 року англієць Поль Дірак зумів записати релятивістське квантове рівняння – рівняння Дірака – для електрона, відкривши шлях до побудови релятивістської квантової теорії. За безмежної швидкості світла рів-

няння Дірака перетворюється на рівняння Шредінгера, яке, в свою чергу, може бути зведене до рівняння Ньютона шляхом граничного переходу по сталій Планка. Отже, будь-яка релятивістська квантова теорія має містити вже дві фундаментальні сталі – сталу Планка та швидкість світла. Із рівняння Дірака виплило пояснення існування власного моменту кількості руху у електрона – так званого спіну, а також потребу існування античастинки до електрону – позитрону. Згодом її експериментально відкрили.

Згадаймо ще одне найважливіше поняття квантової механіки – принцип тотожності частинок. За ним усі частинки поділяються на два типи – ферміони та бозони. Перші, а це електрони, протони, нейтрони тощо, підпорядковуються забороні Паулі, а другі – ні. Останнє означає, що у одному й тому ж стані може знаходитись скільки завгодно бозонів, тобто вони один одному не заважають. З’ясувалось, що статистика частинок, або їхня належність до ферміонів чи бозонів, прямо залежить від величини спіну. До того ж частинки з напівбілим спіном – ферміони, а цілим – бозони.

Вище коротко перелічені базисні поняття квантової теорії. Цій науці вже понад вісімдесят років, якщо рахувати від відкриття рівняння Шредінгера. І майже увесь подальший розвиток фізики ХХ сторіччя є по суті розвитком квантової теорії – релятивістської і нерелятивістської. Далі зроблено спробу сформулювати загальні принципи та закономірності у цьому захопливому процесі.

Єдність світу та універсальність фізичної теорії

Історія фізики демонструє, що абсолютно різні фізичні системи, що існують в різних просторових масштабах (скажімо, ядра, атоми, зорі тощо), описуються одними й тими ж законами, насамперед, квантовими. Візьмімо, наприклад, електрони у металах та нейтронну зорю. Що між ними може бути спільного? Так, властивості електронної рідини у металі визначаються *принципом Паулі*: окремі вільні електрони поступово заповнюють усі дозволені енергетичні стани – від самого найнижчого до того верхнього, яке буде



окуповане останнім електроном певного металу і яке зветься енергією Фермі. У нейтронній зорі те ж саме: нейтрони, що складають її, будучи ферміонами, також займають стани у відповідності до того ж принципу. Проте нейтронна зоря – це об'єкт, маса якого може бути зіставлена з масою Сонця, стисненого до розміру порядку кількох десятків кілометрів. Це означає, що густина нейтронної зорі не менша, ніж густина речовини в атомному ядрі. Іншою мовою, нейтронну зорю можна ототожнити з величезним шматком ядерної матерії, в якому кількість частинок на 30 (!) порядків перевищує кількість електронів у металі. Проте в обох випадках працює принцип Паулі, і стан нейтронної речовини у зорі і стан електронної рідини у металах описуються майже однаковими формулами. В результаті, приходимо до вкрай важливого висновку – у макросвіті діють ті ж самі фізичні закони, що і у мікросвіті.

Ще один приклад. У квантовій механіці досить давно прийнята концепція, за якою будь-яка взаємодія між частинками (ферміонами) виникає завдяки обмінові іншими частинками (бозонами). При цьому маса бозонів та їхня дисперсія визначають радіус міжферміонної взаємодії. Що важчий бозон, то більш короткодіючою є взаємодія. Якщо взяти квантову електродинаміку, то між електронна взаємодія (кулонівське відштовхування) виникає завдяки обміну *фотонами* – безмасовими квантами електромагнетного поля, внаслідок чого радіус відповідної взаємодії є нескінченим. У атомному ядрі взаємодія між нуклонами (протонами, нейтронами) народжується шляхом обміну мезонами, маса яких майже у 200 разів перевищує електронну. З цього (з тих самих формул) випливає, що радіус ядерних сил дуже малий, що передбачив японський теоретик Гідекі Юкава і блискуче підтверджено відкриттям – мезонів. Але, мабуть, найцікавішим є те, що додаткова до кулонівської взаємодія між електронами може виникати у твердому тілі, якщо вони обмінюються квантами коливань кристалічної ґратки – *фононами*. У металах ця взаємодія має характер притягання, яке відповідає за явище надпровідності.

Третій приклад. Наприкінці 1930-х років, коли радянський теоретик Лев Ландау працював у Хар-

кові, він запропонував загальну теорію фазових перетворень II-го роду, в основу якої було покладено глибоку ідею про *спонтанне порушення симетрії*. Його наслідком є встановлення в системі нової якості, що може бути описана *параметром порядку*, відсутнім до переходу. Поява такого параметра відповідає виникненню нової фази при збереженні стану (зокрема, твердого) системи. Сам параметр порядку знаходиться з мінімізації вільної енергії системи, або так званого потенціалу Гінзбурга-Ландау. Теорія, про яку йдеться, також в повній мірі універсальна і з успіхом використовують під час вивчення різноманітних фазових перетворень II-го роду у конденсованих середовищах: магнетних, структурних, надплинних, надпровідних тощо. З'ясувалось, що концепція спонтанного порушення симетрії широко застосовна в квантовій теорії поля, бозе-ейнштейнівській конденсації та інших проблемах. Зокрема, поява маси у елементарних частинок зараз приписується її взаємодії з деяким допоміжним полем, яке зазнає спонтанне порушення симетрії.

Саме так, завдяки розвиткові та узагальненню теоретичних уявлень відбувається переміщення ідей і понять з однієї галузі фізики в іншу. Наведені яскраві приклади дають вагомий привід говорити, що квантова теорія поля і теорія конденсованого стану щедро взаємозбагачують одна одну. Це свідчить на користь загальності та єдності фізичних законів. Як відбиття такої єдності ми бачимо, що не тільки ідеї та підходи, а й математичний апарат теорії в самих різних напрямках фізики виявляється дуже подібний. Завдяки цьому багато відомих фізиків-теоретиків вдало та однаково успішно працюють у різних галузях теоретичної фізики – квантовій теорії поля і теорії твердого тіла, теорії квантових рідин і астрофізиці. Найвідоміші серед них радянські вчені Микола Боголюбов і Лев Ландау, зараз – Віталій Гінзбург, а серед закордонних, мабуть, італієць Енріко Фермі, норвежець Ларс Онсагер, американець Річард Фейнман.

Мені здається треба навести ще один приклад, що виразно демонструє універсальність базових фізичних концепцій. Маю на увазі концепцію *квазічастинок* – одну із найглибших у фізиці взагалі,



до якої мають відношення Лев Ландау і видатний український фізик-теоретик, харків'янин Ілля Лівшиць. Вона почала розроблятися як теорія електронів у металах, а згодом проникла майже у всі розділи фізичної науки. Справді, уявімо собі електрон (затравочний, як кажуть фізики), який рухається у періодичному полі йонів металу, взаємодіючи з ними, а також іншими електронами, дефектами ґратки тощо. Вказані взаємодії радикально перебудовують можливі стани цього електрону. Насправді, як показують розрахунки, в кристалі рухається "нова" частинка, чия маса не має нічого спільного із затравочною, а залежність енергії від імпульсу (між іншим, в кристалах із їх дискретною структурою треба говорити про квазіімпульс) також може суттєво відрізнятись від такої для електрону у вакуумі. Відтак, у різноманітних фізичних процесах за участю електрона ми маємо справу не з затравочною частинкою, а новим перенормованим об'єктом – квазічастинкою. Властивості металу як фізичного середовища повністю визначаються цими квазічастинками, які заради простоти часто називають електронами.

Трохи інша ситуація виникає, коли після врахування взаємодії між затравочними частинками і переходу до квазічастинки останні також взаємодіють між собою, хоча, зазвичай, набагато слабкіше. Але навіть відносно слабка взаємодія між квазічастинками може досить сильно вплинути на них, перенормувати, змінивши їх характеристики. Яскравим прикладом цього твердження є електрон, який рухається у середовищі, що легко може поляризуватись. Тоді, як кажуть, він обростає шубою (або хмарою) бозонів (ґраткових фононів), яка пересувається разом з ним, формуючи нову квазічастинку – *полярон*. Приємно підкреслити, що полярон народився на кінчику пера відомого українського теоретика Соломона Пекара і тільки згодом його відкрито експериментально.

У підсумку треба відзначити, що квазічастинки (а не вихідні частинки) у фізиці конденсованого стану відіграють найсуттєвішу роль; через них розраховуються усі характеристики середовищ, саме вони виступають як реальні об'єкти під час взаємодії твердих тіл із зовнішніми полями та

випромінюваннями. Теж саме маємо й у теорії елементарних частинок. Ті об'єкти, які ми вважаємо елементарними і які мають цілком вимірювані характеристики – масу, заряд, спин тощо, є насправді комбінованим утворенням, "складеним" із затравочної частинки та хмари інших частинок, що народжені нею із вакууму.

Закони збереження і симетрія

Теоретичний аналіз різноманітних фізичних явищ утвердив у фізиці (і не тільки) надзвичайно велику роль *законів збереження*, які визначають протікання будь-яких процесів, де б вони не відбувалися. Існування строгого збереження тих чи інших величин було усвідомлене фізиками ще у ХІХ сторіччі, але, можна стверджувати, лише на початок ХХ сторіччя, стало зрозумілим, що кожний закон збереження зв'язаний з тією чи іншою симетрією простору-часу. Загальніше це виражається у формулюванні, що будь-який закон збереження обумовлений групою перетворень, яка залишає фізичну систему інваріантною (теорема Еммі Нетер). Так, закон збереження імпульсу зобов'язаний своїм існуванням однорідності простору, збереження моменту кількості руху – ізотропності простору, збереження енергії – однорідності часу. Існує багато інших законів збереження, зумовлених динамічною симетрією фізичних систем. Зокрема, збереження заряду зв'язано з так званою градієнтною інваріантністю.

Симетрія взагалі відіграє величезну роль, і не лише в фізиці. Так, доведено, що можливі стани системи можуть бути розкласифіковані за незвідними представленнями її групи симетрії (теорема Юджин Вігнера), до того ж це стосується і квантових, і звичайних класичних систем, релятивістських і нерелятивістських. У спеціальній теорії відносності, наприклад, усі закони збереження зумовлені групою Лоренца, у квантовій електродинаміці – групою (думаю, зайве пояснювати, що означає ця номенклатура, головне – існування певної групи).



Теоретична фізика і математика

Пошук притаманної даній системі симетрії є однією з найважливіших задач теоретичної фізики. Прикладом може слугувати класифікація елементарних частинок (*адронів*), які беруть участь у сильній взаємодії. Їх на початок 1960-их років було відкрито дуже багато і цей список постійно поповнювався новими, а систематика перетворилася на, здавалося, непереборну проблему. Проте її було розв'язано, коли американський теоретик Мюррей Гелл-Ман запропонував для сильної взаємодії групу симетрії $SU(3)$. З відповідної групової структури негайно виплило, що адрони мають групуватися у мультиплети частинок з близькими масами та різними характеристиками (квантовими числами). Теорія передбачала існування деяких частинок, які були відсутні у мультиплетах. Ці частинки незабаром відкрили. Ситуація нагадує періодичний закон, за допомогою якого було передбачено та знайдено нові хімічні елементи. До того ж, цікаво зауважити, що і періоди таблиці Менделєєва обумовлені структурою незвідних представлень групи обертань, за якими класифікуються електронні стани атомів. Зі структури групи $SU(3)$ випливала також гіпотеза про *кварки* – субелементарні частинки, які є елементами для побудови усіх адронів: по три кварки на баріон і по два на мезон. Загалом кваркова будова матерії знайшла блискуче підтвердження в експериментах, хоча самі кварки як вільні об'єкти не знайдено (тепер припускається, що з дуже глибоких причин це загалом неможливо).

Симетрія є важливим аспектом і при побудові єдиної теорії поля, що має містити всі відомі взаємодії між елементарними частинками: слабку, електромагнетну, сильну, а також гравітацію, що поки що зробити не вдається. Років тридцять тому відбулося об'єднання слабкої та електромагнетної взаємодій – *теорія електрослабкої взаємодії*, вже майже завершена теорія так званого *великого об'єднання*, яке має включити і сильну взаємодію. Але створення послідовної теорії поля залишається задачею для теоретичної фізики нашого сторіччя.

Математика – це окрема наука, але в теоретичній фізиці вона відіграє виключно важливу роль. До того ж, існує математичний напрям – математична фізика, проте його не можна отожднювати з теоретичною фізикою, яка націлена на вирішення фундаментальних проблем, пов'язаних, як зазначалося, з найглибшими властивостями оточуючого нас світу. При спробах формулювання відповідних задач нерідко виникають запитання суто математичного характеру, на які сучасна математика відповіді не має, тоді вони розв'язуються самими фізиками-теоретиками. Зі сказаного можна спробувати відповісти на запитання: а як виникає математичний апарат у фізиці – береться він готовим з математики або ж фізики його створюють самі? У загальному випадку такий процес досить складний, і обидва шляхи в ньому перетинаються, змінюючи один одного.

Якщо подивитись на історію, то, як відомо, математика як наука виникла набагато раніше. Про теоретичну фізику як самостійну галузь фізики можна говорити, починаючи з досліджень Ньютона. У XIX сторіччі велику роль відігравали диференціальні рівняння – дифузії, теплопровідності, хвильове рівняння тощо. Вивчення їхніх розв'язків для різних випадків значною мірою становить предмет математичної фізики, яка нині доповнилась також дослідженнями великої кількості нелінійних рівнянь, серед яких до особливого класу треба віднести повністю інтегровані диференціальні рівняння. Можна досить впевнено стверджувати, що фізики тих, вже далеких часів, частіше використовували вже готові математичні методи та чудово розвинутий математичний апарат, оскільки на межі XIX–XX сторіч математика все ще випереджала теоретичну фізику. Проте у XX сторіччі ситуація почала ускладнюватись. Завдяки бурхливому розвитку фізичних досліджень почали виникати все частіше задачі, для розв'язку яких відомих математичних методів вже не вистачало. Звичайно, у багатьох випадках можна було знаходити адекватну і розроблену математику, але непоодинокими ставали випадки, коли математика



не була готова і виникала потреба в абсолютно новій математиці. Дуже часто фізики-теоретики не звертались до математиків-професіоналів і самі розробляли способи дослідження, які давали змогу зрозуміти або описати те чи інше явище.

Далі ідеї, що висловлювали фізики, підхоплювали математики і перетворювали на суто математичний напрям або навіть нову математичну дисципліну.

Наприклад, коли виникла квантова механіка, то серед її методів переважно були теорія диференціальних операторів, теорія груп, теорія матриць в останній час – топологія. Майже все це було запозичено з математики XIX сторіччя. Але коли почала розвиватися квантова теорія поля, фізикам довелося ввести та розробити нові математичні конструкції. Найвідоміші серед них узагальнені функції, континуальне інтегрування, грассманові, або некомутуючі неперервні, змінні та багато іншого. З'явилися нові математичні об'єкти – *спінори* (разом з раніше відомими скалярами, векторами, тензорами). І зараз, внаслідок ускладнень фізичних систем, що відкриваються і вивчаються, та просуванням в недосяжні раніше глибини мікро- і макросвіту, все частіше фізики вимушені знаходити оригінальну математичну мову для опису принципово нових ситуацій та ефектів. Яскравим прикладом є *суперструни*.

Останні, можливо, стануть найважливішим поняттям фізики високих енергій майбутнього. Елементарна частинка, тобто точкове матеріальне тіло, у сучасній квантовій теорії поля перетворилася на протяжний об'єкт – суперструну, яку вважають кандидатом на елементарний структурний елемент мікросвіту на наступному (після кварків і лептонів) субрівні. Правда, треба зважати, що просторовий масштаб суперструни становить десь 10^{-33} см (тобто так звану планківську довжину), що у 10^{20} разів менша від діаметра протона. Таким відстаням відповідає неймовірна енергія у 10^{19} мільярдів електронів-вольт. Відповідний діапазон енергій, є, звичайно, недосяжним у земних умовах (зокрема, на пришвидшувачах), проте це аніскільки не означає, що скритий за ним рівень мікросвіту не цікавий для фізиків, насамперед, теоретиків. Хоча б тому, що в таких умовах існувала проторечовина на початкових етапах ево-

люції Всесвіту в момент, а також трохи пізніше Великого вибуху.

Додам ще, в теорії суперструн елементарну частинку розглядають як збуджений стан суперструни, а рух її відбувається у 10-мірному просторі-часі. Зрозуміло, що виходячи з розмірності світу, в якому ми існуємо і живемо, шість з десяти вимірів мають бути скритими, щоб спостережуваними залишились лише відомі нам чотири згадані просторово-часових виміри. Поки ще все це важко усвідомити, проте попри такий майже фантастичний сюжет та існування певної кількості скептиків навіть серед фахівців-природознавців, теорфізична спільнота сподівається, що теорія суперструн може завершитися створенням єдиної теорії всіх відомих взаємодій – слабкої, електромагнетної, сильної та гравітаційної. Відповідна *єдина теорія* може змінити – у котре?! – наші уявлення про властивості і простору, і часу.

Що далі?

Який же головний висновок напрашується, коли зоглядаєш усю сукупність досягнень сучасної теоретичної фізики? Відповідь може бути такою: світ є єдиним і в усій своїй просторово-часовій різноманітності – від мікросвіту елементарних частинок до макросвіту галактик, зір і планетарних систем – підлягає одним і тим же фундаментальним фізичним законам. Загальна теорія відносності вперше зв'язала ці два крайні полюси у єдине ціле і дала змогу вималювати еволюцію Всесвіту, що розгортається у часі від деякого мікромасштабу до того гігантського макромасштабу, в якому ми всі зараз перебуваємо. Не може не викликати подив, що уся матерія живе і розвивається за законами, які можна математично формалізувати, звівши до певної сукупності рівнянь. Останні, не виключено, і є найвищою гармонією та єдністю світу.

Ну як тут не згадати про Бога!?

Одначе, мабуть, доцільніше навести вислів французького фізика і математика П'єра Сімона Лапласа: Коли його запитали, чи вірить він у Бога, він відповів, що гіпотеза про Бога йому в



його дослідженнях ще не знадобилася. До того ж саме так ми маємо думати у наш час, коли у нас на озброєнні досягнення, методологія і всі підходи теоретичної фізики. Гадаю, не помилюсь, якщо заявлю: теоретична фізика – це і є божественний вияв світових гармонії та узгодженості.

Що у вічному і невинному процесі пізнання природи чекає нас у майбутньому? Хоча прогнози – річ невдячна і небезпечна, спробую сказати, що у теоретичній фізиці йдуть два протилежних процеси. З одного боку, в глибину матерії у тому сенсі, що вивчається взаємодія на усе менших і менших відстанях. Це дає змогу пізнавати *субструктуру* мікрочастинок. Спочатку атом вважався неподільним, згодом з'ясувалося, що він має будову, що складається з ядра і електронів. Пізніше протон-нейтронна будова самого ядра зазнала уточнення, коли з'ясувалося, що нуклони побудовані з кварків. І ніхто не скаже, чи є межа у цієї "матрьошки" і чи не є такий процес витягання безмежним або обмеженим. Повторю, навряд можна сказати щось визначене з цього приводу, до того ж, що процес, про який йдеться, вимагає від людства величезних витрат і напруження, бо пов'язаний з будівництвом гігантських потужних пришвидшувачів. Так, можливо відкриття нових фундаментальних законів, що виявляються на відповідних просторових масштабах і енергіях. Проте пізнання зупинити неможливо – його рушійною силою є непереборна тяга до знання, або ж кажучи простіше – цікавість. Вона, впевнений, визначатиме нескінченність пізнання як способу буття людства загалом і його спробу вийти за оточуючі межі простору.

З іншого боку, у теоретичній фізиці відбувається ще один процес – екстенсивний. Він зобов'язаний докладному вивченню, як образно висловився російський теоретик Юрій Ізюмов, близького мікросвіту, тобто близького до людини. До нього, насамперед, треба віднести фізику конденсованого стану. І процес його пізнання також необмежено триватиме, тому що з ним пов'язано основні технічні застосування, що є наслідком досягнень фізики, а точніше – цивілізаційний розвиток людства. У цьому напрямі також спостерігаються певні зміни: від металів і напівпровідників до рідинних кристалів, а від останніх – до біополімерів і біології

загалом. Якщо мова про біологію, то, безумовно, фізика неживих об'єктів, залишаючись важливою ділянкою фізичної наук, поступово віддає пальму першості фізиці живого. Існує навіть думка, що XXI сторіччя має стати сторіччям пізнання людини у її невід'ємній єдності з природою. Тут непоганий край роботи, і для фізиків-теоретиків відкривається нові горизонти для формулювання законів і рівнянь буття живої матерії. Не виникає сумнівів, що основна парадигма фізики – спрощення і моделювання має бути змінена, тому що у біології є певна межа для спрощення – вивчаючи будь-що, не можна живий об'єкт перетворити на неживий. По великому рахунку, фізики-теоретики в галузі фізики живого ще не працювали, а в ній їм, безумовно, є чим зайнятися, бо, насправді, фізика живого об'єднує фізику, хемію і біологію.

Проте це справа майбутніх поколінь науковців, а отже, впевнений, читачів "Світу фізики". Свої ж роздуми про теоретичну фізику напередодні 90-річного ювілею Національної академії наук України, де я працюю все свідоме життя і де фізика посідає одне з головних місць, хотів би закінчити таким: якщо б мені запропонували назвати три наукових відкриття попереднього, XX сторіччя, які найсильніше вплинули на сучасне людське суспільство та на його майбутнє, то без вагань я б вказав на створення *квантової механіки*, відкриття *генетичного коду* та винахід *комп'ютерів* (особливо персональних).

Квантова механіка забезпечила сучасні технології (зокрема, для побудови комп'ютерної техніки), а в останній період стала основою наноіндустрії, з якою пов'язують принципові зрушення в багатьох напрямках сучасних природничих наук.

Роль комп'ютеризації всіх ділянок людської діяльності та інформатики у суспільстві загалом зрозуміла кожному без пояснень.

Щодо генетичного коду, то повною мірою його значення виявиться у майбутньому, непогано якщо б недалекому. Тому, як і багато моїх колег, я поділяю прогноз, що XXI сторіччя, яке нещодавно розпочалося, справді належатиме наукам про життя в усіх його виявах. Хотілося б лише бути свідком, що, насамперед, фізика і фізики (зокрема, теоретики) будуть визначати проривні події в цій інтригуючій галузі.



До 100-річчя від дня народження
Джона Бардіна

Двічі Нобелівський лавреат з фізики – Джон Бардін

Галина Шопа,

Львівський національний університет Імені Івана Франка



Джон Бардін
(23.05.1908–30.01.1991)

Джон Бардін – один з найбільших теоретиків у царині фізики твердого тіла. Він так само знаменитий як інженер і винахідник. Недарма його названо одним із 11-ти лавреатів американської національної відзнаки “Премія III сторіччя”, якою нагороджують за найбільші відкриття, здійснені за 200 років існування патентного права США.

Праці Дж. Бардіна мали визначальний вплив майже на всі основні галузі фізики твердого тіла: електронні процеси в металах і напівпровідниках, магнетизм, фізику поверхні напівпровідників, теорію дифузії атомів у кристалах, фізику низькорозмірних систем, оптоелектроніку, нарешті, проблеми високотемпературної надпровідності. Вплив Дж. Бардіна на технічне й наукове життя нашого часу вважають унікальним.

Журнал “Лайф” назвав Дж. Бардіна серед ста найвидатніших людей XX сторіччя. А японська компанія “Соні” заснувала кафедру Дж. Бардіна з фізики, електроніки та комп’ютерної інженерії

“Він буде нас завжди надихати...”

Микола Голоняк

Іллінойського університету в Урбані, пожертвувавши університетові три мільйони доларів. Не так часто буває, щоб промислова фірма робила університетові такі великі внески.

Дж. Бардін народився 23 травня 1908 року в м. Медісоні (штат Вісконсин, США). Його батько, Чарльз Р. Бардін, був професором анатомії та деканом медичної школи при Вісконсинському університеті, мати, Елсі Бардін, була декоратором інтер’єрів. Вона померла від раку грудей у квітні 1920 року, коли Джонові було лише дванадцять років. Батько одружився вдруге із Рут Геймс. Джон мав два рідні брати Вільгельма і Томаса, сестру Гелен і зведену сестру Анні.

Дитинство Джона пройшло у Медісоні. До науки його заохочував батько, який під час великої епідемії грипу (1918) експериментував з хемічними препаратами у підвалі будинку.

Початкову освіту Джон здобував у Медісоні. Він був надзвичайно здібним школярем, його з третього класу перевели відразу до сьомого. Далі навчався у медісонській центральній середній школі, яку закінчив 1923 року. Хлопець захоплювався спортом, особливо гольфом і плаванням. Він був дуже скромним, його старший брат Вільгельм допомагав йому адаптуватися у товаристві. Згодом у цьому йому допомагала дружина Джейн, колега Вольтер Браттейн із лабораторії “Белл”, а також його перший аспірант Микола Голоняк.

Закінчивши середню школу, Дж. Бардін вступив до Вісконсинського університету. Там він слухав курс лекцій Джона ван Флека з квантової механіки, але ще не був готовий стати фізиком.



Він 1928 року здобув ступінь бакалавра з електротехніки, вивчаючи додатково фізику і математику. Ще студентом старших курсів він працював в інженерному відділі “Вестерн електрик компанії”. Наступного року він здобув ступінь магістра з електротехніки у Вісконсинському університеті, здійснюючи дослідження з прикладної геофізики і вивчення антен.

Ще в дитинстві Дж. Бардін мав великий хист до математики. Здобуваючи інженерну освіту (електротехніка), він залюбки опанував теоретичну фізику, зокрема квантову механіку. Він докладно опрацьовував нові публікації, а 1928 року відвідував у Медісоні лекції Поля Дірака.

Лише вступивши 1933 року до Принстонського університету, Дж. Бардін почав ґрунтовно вивчати фізику. Там він під керуванням професора Е. Вігнера виконав докторську дисертацію, яка була присвячена силам притягання, що утримують електрони всередині металу.

До 1933 року Дж. Бардін працював у Дослідницькій лабораторії в галузі геофізики у Пітсбурзі (штат Пенсильванія) в електромагнетній розвідці під керуванням американського геофізика Лео Дж. Пітерса. Там він аналізував карти гравітаційної і магнетної напруженості, визначав ймовірності розміщення нафтових родовищ. Та ця галузь науки не цікавила Дж. Бардіна.

Захистивши дисертацію (1936), Дж. Бардін три роки був постдоктораном Гарвардського університету, де розробляв теорію електропровідності металів. Він став наймолодшим членом Гарвардського наукового товариства. Там він працював в оточенні талановитих фізиків, які мали позитивний вплив на формування майбутнього науковця. Учений продовжував вивчати властивості твердих тіл. Тоді ще фізика недостатньо володіла теоретичними інструментами, зокрема теорією квантованих полів.

Дж. Бардін 1938 року одружився з Джейн Максвелл. Їхній шлюб тривав 53 роки. Вони мали двох синів Деймса і Вільяма та доньку Елізабет. Старший син Джеймс (1939 р. н.) – відомий фізик, професор Каліфорнійського технологічного інституту.

Дж. Бардін у 1938–1941 рр. працював асистент-професором Міннесотського університету, де вивчав поведінку електронів у металах.

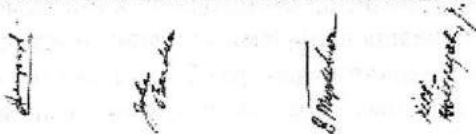
Під час Другої світової війни (1941–1945) він працював дослідником військово-морської артилерійської лабораторії у Вашингтоні, вивчаючи магнетні поля кораблів.

Після війни (1945), Дж. Бардін перейшов працювати до “Bell Telephone Laboratories”, потужної телефонної компанії “Белл”, у щойно сформовану перспективну дослідницьку групу з вивчення фізики твердого тіла, яку очолював фізик-теоретик В. Шоклі. Там працювали фізики-експериментатори В. Браттейн і Джеральд Пірсон. Використавши ідеї Дж. Бардіна про можливість інжекції неосновних носіїв у напівпровідники, вони 1947 року зробили надзвичайно важливе для науки і техніки відкриття транзисторного ефекту.

В. Шоклі хотів побудувати прототип сучасного польового транзистора. У такому приладі електричне поле, індуковане напругою, що прикладена до напівпровідника, мало впливати на рух електронів всередині матеріалу. Шоклі хотів використати електричне поле, щоб керувати вільними електронами на одній з ділянок напівпровідника і тим самим модулювати струм, що протікає через прилад. До того ж, він міг би стати підсилювачем, оскільки невеликий сигнал (прикладена напруга) може викликати великі зміни струму, що протікає крізь напівпровідник.

Усі спроби побудувати такий прилад за цим планом були марні. Тоді Дж. Бардін припустив, що зовнішня напруга не створює всередині напівпровідника бажаного поля через шар електронів, які розміщені на поверхні. Під час досліджень з’ясувалось, що властивості приладу залежать від освітленості, температури поверхні і змінюються під час контакту з рідинами чи металевою плівкою, що напилена на напівпровідник.

Перший точково-контактний біполярний транзистор Дж. Бардін і В. Браттейн виготовили 16 грудня 1947 року із одного шматка германію. Точковими контактами були два тонкі “вусики” із металу (емітер і колектор), що були прикріплені до верхньої частини германію, третій контакт (база) був зв’язаний із нижньою частиною блока. Щоб керувати струмом між емітером і колектором використовували невеликий струм, який протікав між емітером і базою. Ця ідея замінила ідею керування за допомогою зовнішнього електричного поля.



Зліва направо: Жорес Алфьоров, Джон Бардін, Володимир Тучкевич, Микола Голоняк (Іллінойський університет, 1974)

За тиждень (23 грудня) дослідники продемонстрували перший двотранзисторний генератор-підсилювач. Дж. Бардін, телефонуючи того вечора дружині, майже нерозбірливо пробурмотів: "Ми щось сьогодні відкрили".

В. Шоклі був неприємно вражений, що це відкриття відбулося без його участі, хоча на його ідеях. Бажаючи запатентувати цей винахід без Дж. Бардіна і В. Браттейна, В. Шоклі з подивом і розчаруванням довідався, що такий патент уже належить польсько-американському винахідникові Юліусові Лілієнфельду ще з 1930 року.

Наукова група продовжувала працювати над новою версією винаходу, однак у лабораторії панувало напруження, оскільки вони не могли передбачити, що в якійсь лабораторії світу їх не обійдуть інші дослідники.

В. Шоклі таємно від наукової групи, яку сам очолював, почав працювати над удосконаленою версією. 16 лютого 1948 року інший експериментатор із лабораторії Белл Джон Шів показав, що носії струму (дірки) можуть переміщатися по всьому об'ємі напівпровідника, а не лише в тонкому шарі поверхні. На цьому ґрунтувались таємні дослідження Шоклі. Побойючись, що Бардін

використає це швидше, ніж він, В. Шоклі оголосив про свої дослідження, щоб бути першим. Дж. Бардін і В. Браттейн були шоковані та дуже ображені, що їхній керівник приховав свої роботи від інших членів наукової групи.

Напівпровідникові прилади почали швидко витісняти електронні лампи. Неважко зрозуміти, що це означало для електронної техніки з огляду енергоспоживання, габаритів, надійності, довговічності. Саме відтоді напівпровідники широко використовують.

Створення транзистора В. Браттейном та Дж. Бардіном і розроблення теорії *p-n*-переходів В. Шоклі визначили початок нової ери в техніці.

Використання у побуті сучасних телевізорів, комп'ютерів, відеоміагнетофонів, мобільних телефонів тощо стало можливим завдяки здобуткам твердотільної електроніки, започаткованої ідеєю Дж. Бардіна про інжекцію неосновних носіїв, а також здобутками фізики тунельних явищ.

Дж. Бардіна, В. Браттейна і В. Шоклі нагородили Нобелівською премією з фізики 1956 року "за дослідження напівпровідників і відкриття транзисторного ефекту". "Транзистор набагато переважає радіолампи, – сказав член Шведської королівської академії наук, представляючи лавреатів. – Транзистори значно менші від електронних ламп і, на відміну від останніх, не потребують електричного струму для розжарення нитки. Для акустичних приладів, обчислювальних машин, телефонних станцій і багато іншого потрібні саме такі пристрої."

Дж. Бардін 1951 року залишив компанію "Белл" та обійняв одночасно посади професора електротехніки на електроінженерному факультеті та професора фізики на фізичному факультеті Іллінойського університету в Урбані.

Чому науковець залишив таку потужну компанію "Белл" і переїхав до Урбани?

Як пише проф. Я. Довгий у книжці "Чарівне явище надпровідність", це зумовлено створенням нових наукових шкіл, які розвивали б цей напрям. У Чикаго була велика електронна промисловість, з якою він мав намір плідно співпрацювати, адже Іллінойський університет знаходився за сто миль від Чикаго. І ще одна причина – турбота про молоду наукову зміну. Поєднання наукової діяль-



ності із викладацькою якнайліпше цьому сприятиме. До того ж, напевно, напружена ситуація у науковій групі, коли з'ясувалася зрада їхнього керівника В. Шоклі, стала головною причиною його переходу до Іллінойського університету.

В Урбані Дж. Бардін знову повернувся до проблем електропровідності та надпровідності, які вивчав ще в аспірантські роки і які змушений був перервати під час війни. Поштовхом до цього стало відкриття 1950 року ізотопного ефекту в надпровідності.

Надпровідність відкрив ще 1911 року нідерландський фізик Гейке Камерлінг-Оннес, який виявив, що деякі метали зовсім втрачають опір до електричного струму за температур, що перевищують на декілька градусів абсолютний нуль. Електричний струм – це потік електронів у певному напрямку. У металах багато електронів настільки слабо зв'язані зі своїми атомами, що електричне поле, яке виникає завдяки прикладеній зовнішній напрузі, примушує їх рухатися в напрямку поля. Однак електрони також здійснюють хаотичні коливання завдяки наявності тепла. Цей хаотичний рух є причиною виникнення опору потокові електронів під впливом поля. Коли завдяки охолодженню тепловий рух зменшується, то опір також зменшується. За абсолютного нуля, коли тепловий рух зовсім припиняється, можна очікувати, що опір зовсім зникне. Однак абсолютний нуль майже недосяжний. Незрозуміло у надпровідності те, що опір зникає за температури, трохи вищої від температури абсолютного нуля, коли ще присутній тепловий рух. Жодного позитивного пояснення цьому не було.

З'ясувалось, що надпровідники володіють ще однією незвичайною характеристикою, яку 1933 року відкрив німецький фізик Вальтер Мейснер. Він виявив, що вони є доскональними діамагнетиками, тобто перешкоджають проникненню магнетного поля у глибину метала. Парамагнетні матеріали, серед яких є звичайні магнетні метали, наприклад, залізо, більше чи менше піддаються намагнетченості з боку магнета, що розташований поблизу. Оскільки магнетне поле магнета індукує поле, яке протилежно напрямлене у парамагнетному тілі, це тіло притягується до магнета. Та оскільки діамагнетне поле протидіє магнетному полю, це тіло і магнет взаємно відштовхуються,

незалежно від того, який полюс магнета ми до нього підносимо. Магнет, який розміщений над надпровідником, буде знаходитися в стані спокою на “подушці магнетного відштовхування”. Однак, якщо прикладене магнетне поле достатньо велике, надпровідник втрачає свої властивості і поводить себе як звичайний метал.

Німецький фізик Фріц Лондон 1935 року припустив, що діамагнетизм є фундаментальною властивістю надпровідників і що надпровідність, напевно, – це квантовий ефект, який якимось виявляється у всьому тілі.

Підтвердження того, що Ф. Лондон мав рацію, з'явилися 1950 року. Деякі американські фізики виявили, що різні ізотопи одного й того ж металу стають надпровідниками за різних температур і що критична температура обернено пропорційна до атомної маси. Ізотопи – це елементи, що мають однакову кількість протонів у своїх ядрах (а, відповідно, однакову кількість електронів, які оточують ядро) і хемічно подібні один до одного, але їхні ядра мають різну кількість нейтронів і, відповідно, володіють різними масами.

Дж. Бардін знав, що єдиний вплив різних атомних мас на властивості твердого тіла виявляється у відмінностях під час поширення коливань всередині тіла. Тому він припустив, що в надпровідності металу бере участь взаємодія між рухомими електронами (які відносно вільні, тобто можуть рухатися, утворюючи електричний струм) і коливаннями атомів металу і завдяки цій взаємодії утворюється зв'язок між електронами.

Згодом до досліджень Дж. Бардіна долучилися два його студенти з Іллінойського університету – Леон Купер, який продовжував дослідницьку роботу, захистивши докторську дисертацію, і аспірант Дж. Р. Шриффер. Л. Купер 1956 року показав, що електрон (який має негативний заряд), який рухається крізь регулярну структуру (ґратку) металевого кристала, притягує найближчі позитивно заряджені атоми, трохи деформуючи ґратку і збільшує концентрацію додатнього заряду на короткий час. Ця концентрація додатнього заряду в свою чергу притягує інший електрон, і два електрони утворюють пару, що зв'язані один з одним завдяки викривленню кристалічної ґратки. Таким способом багато електронів у металі об'єднуються по два, утворюючи куперівські пари.



Дж. Бардін і Дж. Р. Шриффер спробували за допомогою концепції Купера пояснити поведінку великої кількості вільних електронів у надпровідному металі, але з цього нічого не вийшло.

Коли Дж. Бардін 1956 року поїхав до Стокгольма за Нобелівською премією, Дж. Шриффер уже хотів визнати свою поразку, та скориставшись порадами Бардіна, йому вдалось розвинути статистичні методи, що були потрібні для розв'язання цієї проблеми.

Тоді Дж. Бардіну, Л. Куперу і Дж. Шрифферу вдалось показати, що куперівські пари, взаємодіючи між собою, заставляють багатьох вільних електронів у надпровіднику рухатися єдиним потоком. Як і догадався Ф. Лондон, надпровідні електрони утворюють єдиний квантовий стан, який охоплює весь метал. Критична температура, за якої виникає надпровідність, визначає ту ступінь зменшення температурних коливань, коли вплив куперівських пар на координацію руху вільних електронів стає домінуючим. Оскільки виникнення опору з відхиленням навіть одного електрона від загального потоку обов'язково вплине на інші електрони, що беруть участь у надпровідності, а, отже, порушує єдність квантового стану, таке збурення мало ймовірне. Тому надпровідні електрони переміщуються колективно, без втрати енергії.

Досягнення Дж. Бардіна, Л. Купера і Дж. Шриффера назвали одним із найважливіших у теоретичній фізиці від часу створення квантової теорії. Науковці 1958 року за допомогою своєї теорії передбачили надплинність (відсутність в'язкості та поверхневого натягу) у рідкого гелію-3 (ізоп гелію, ядро якого має два протони і один нейтрон) поблизу температури абсолютного нуля, що й було підтверджено експериментально 1962 року. Надплинність спостерігали й раніше у гелію-4 (найпоширеніший ізоп із одним додатковим нейтроном), і вважали, що вона неможлива у ізопів з непарною кількістю ядерних частинок.

Удруге Нобелівською премією з фізики Дж. Бардіна нагородили 1972 року "за створення теорії надпровідності, яку називають БКШ-теорією". Він одержав цю нагороду із Л. Купером та Дж. Шриффером. Під час представлення лавреатів, член Шведської королівської академії наук сказав так: "Ваша теорія передбачила нові ефекти і сти-

мулювала подальші поступу у теоретичних і експериментальних дослідженнях.

Дж. Бардін володів тонким почуттям гумору. Був доброю і дуже широю людиною. Особливу щедрість виявляв до здібної наукової молоді. Першим аспірантом Дж. Бардіна в Іллінойському університеті був талановитий експериментатор Микола Голоняк (1928 р. н.), українець, батьки якого родом із Закарпаття.

Як згадує М. Голоняк, довкола непересічної особи завжди витають легенди. Студенти називали Дж. Бардіна "мовчазним Джоном", а колеги вважали його непогрішним. Учений розмовляв тихо, особливо під час тривалої дискусії. З цього приводу дещо іронічно висловився грузинський фізик Е. Андронікашвілі, який часто зустрічався з Бардіним на конференціях. У книжці "Починаю з Ельбруса..." він пише: "...Артикуляція Бардіна така, що він у розмові не рухає губами. Крізь його майже закриті уста вилітають не слова, а окремі звуки". Він завжди говорив виважено та обдуманно, мав спокійний характер.

Репутацію непогрішного Дж. Бардін заслужив завдяки величезному талантові, інтуїції, глибокому розумінню квантової фізики.

Розуміючи роль науки і культури в суспільстві, Дж. Бардін завше підтримував прогресивні ідеї. Як член Наукової ради при Президентові США Д. Ейзенгауері (1959–1962) він, зокрема, підтримував ідею спорудження у Вашингтоні пам'ятника Т. Шевченкові. Рішуче виступав на захист академіка Андрія Сахарова.

В Іллінойському університеті Дж. Бардін, крім продовження досліджень напівпровідників, розгорнув дослідження з теорії надпровідності. До цих праць енергійно долучилося двоє його недавніх студентів з цього ж університету – постдокторант Л. Купер та аспірант Дж. Шриффер.

Дж. Бардін 1959 року почав працювати у Центрі фундаментальних досліджень Іллінойського університету, продовжуючи свої дослідження у галузі фізики твердого тіла і фізики низьких температур. Будучи на пенсії, науковець 1975 року одержав звання почесного професора.

Дж. Бардін – єдиний науковець, якого двічі нагородили Нобелівською премією з фізики. Він був цілеспрямований, поєднував в собі таланти інженера, математика, фізика, спортсмена.



Здавалося, що час йому не належить. До останніх днів свого життя він проводив семінари, писав наукові праці.

Крім Нобелівської премії, Дж. Бардіна нагородили медаллю Стюарта Баллантайна Франклінівського інституту (1952), премією Джона Скотта м. Філадельфії (1955), премією з фізики твердого тіла Олівера Барклі Американського фізичного товариства (1954), медаллю Ф. Лондона (1962), Національною медаллю "За наукові досягнення" Національного наукового фонду (1965), почесною медаллю Інституту інженерів з електротехніки і електроніки (1971), Президентською медаллю свободи уряду США (1977), золотою медаллю ім. М. В. Ломоносова "За видатні досягнення в галузі фізики" (1987).

Дж. Бардін був членом Американського фізичного товариства (у 1968–1969 рр. – його президентом), членом Американської національної академії наук, Американської академії наук і мистецтв. Він був співзасновником журналу "Physical Review".

Джон Бардін помер на 82 році життя у Бостоні 30 січня 1991 року від серцевого нападу.

Література

1. Храмов Ю. О. Фізика. – Київ: Наукова думка, 1977. – 512 с.
2. Лауреаты Нобелевской премии (The N. W. Wilson Company, 1987): Энциклопедия. Пер. з англ. – Москва: Прогресс, 1992.
3. Довгий Я. О. Джон Бардін. – Світ фізики, 1998. № 2. С. 18–22.
4. Алфьоров Ж. И. Фізика на порозі ХХІ века. – Наука и жизнь, 2000. № 3. С. 2–9.
5. Довгий Я. О. Чарівне явище надпровідність. – Львів: Євросвіт, 2000. – 240 с.
6. Шопа Г. М., Гальчинський О. В. Нобелівські лавреати з фізики. – Львів: Євросвіт, 2008. – 760 с.
7. www.Nobelprize.org.
8. www.science.physics.com.ua.

ДОВГЕ ТВОРЧЕ ЖИТТЯ ВИДАТНОГО НАУКОВЦЯ

Нобелівський лавреат з фізики за 1955 рік Лемб Вілліс Юджін помер 15 травня 2008 року в Тисконі (штат Арізона, США) на 94 році життя.

Науковця нагородили цією престижною премією "за відкриття тонкої структури спектра водню".

В. Лемб народився 12 липня 1913 року в Лос-Анджелесі (штат Каліфорнія, США). Його батько був інженером-телефоністом, а мати, Марі Елен Меткалф, учителькою. Вілліс навчався в початкових школах Окленда та Лос-Анджелеса, середню школу закінчив у Лос-Анджелесі, де виявив феноменальні здібності з хемії. Він 1934 р. одержав диплом бакалавра з хемії у Каліфорнійському університеті в Берклі. Там він залишився працювати над дисертацією під керівництвом Дж. Оппенгаймера. Докторський ступінь В. Лемб здобув 1938 року. Під час Другої світової війни науковець працював у Колумбійському університеті, хоча його запрошували приєднатися до Мангеттенського проекту.

Упродовж наукової кар'єри В. Лемб викладав фізику у Колумбійському (1938–1951), Стенфордському (1951–1956), Гарв'ардському (1953–1954), Оксфордському (1956–1962), Єльському (1962–1974) університетах. В. Лемб працював у різних галузях фізики: працював над проблемами теорії бета-розпаду, довжини пробігу продуктів поділу атомного ядра, флуктуації в космічних зливах, випромінювання електронів метастабільними атомами, польової теорії структури ядра, теорії взаємодії нейтронів і речовини, теорії й проектування магнетронних генераторів і діаманетних уточнень в експериментах з ядерного резонансу. Науковець зробив значний внесок у теорію лазерів.

Попри свій поважний вік, Лемб разом із німецьким фізиком із Ульмівського університету Вольфгангом Шляйхом працював над книжкою з квантової механіки. Та, на жаль, цю працю він не встиг завершити.



VII З'ЇЗД УКРАЇНСЬКОГО ФІЗИЧНОГО ТОВАРИСТВА

23 червня 2008 року в місті Києві відбувся VII з'їзд Усеукраїнської громадської організації "Українське фізичне товариство" (УФТ).

У роботі з'їзду брали участь делегати від місцевих осередків і регіональних організацій Українського фізичного товариства.

До учасників з'їзду з вітальними словами звернулися: перший президент УФТ, директор Інституту магнетизму НАН України, академік НАН України В. Г. Бар'яхтар; академік-секретар відділення фізики і астрономії НАН України, академік НАН України В. М. Локтев; проректор з наукової роботи Київського національного університету імені Тараса Шевченка В. І. Григоров; декан фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка М. В. Макарець; академік НАН України Л. А. Булавін; академік НАН України М. Г. Находкін.

Із доповідями про актуальні напрями розвитку фізичної науки та освіти в Україні, виступили:

– заступник міністра освіти і науки України М. В. Стріха "Державна політика в сфері науки: пріоритети і перспективи";

– голова Вищої атестаційної комісії України В. Ф. Мачулін "Про удосконалення системи атестації науково-педагогічних кадрів високого рівня";

– академік-секретар відділення фізики і астрономії НАН України В. М. Локтев "Проблеми сучасної науки"

– академік НАН України І. Р. Юхновський "Фізика і суспільство";

– академік НАН України В. Г. Бар'яхтар "Проблеми екології та атомної енергетики" (Інститут магнетизму НАН України);

– член-кореспондент НАН України С. М. Рябченко С. М. "Золотий доробок українських вчених в галузі фізики (про ювілейний випуск Українського фізичного журналу)" (Інститут фізики НАН України);

– канд. фіз. мат наук П. І. Голод "М. М. Боголюбов і теоретична фізика ХХ століття (з нагоди

100-ліття від дня народження)" (Національний університет "Києво-Могилянська академія");

– О. О. Пархоменко "Безпека ядерних реакторів: фізичні аспекти" (Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут");

– А. В. Яновський "Наноконтактний спінелектричний ефект" (Фізико-технічний інститут низьких температур НАН України);

– А. М. Погорілий "Прилади та матеріали спінтроники" (Інститут магнетизму НАН України);

– Ю. В. Мільман "Нова концепція пластичності матеріалів" (Інститут проблем матеріалознавства НАН України);

– М. І. Шут "Підготовка вчителів фізики в педагогічних університетах" (Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова);

– Г. І. Салівон "Викладання фізики у спеціалізованих фізико-математичних ліцеях" (Український фізико-математичний лицей КНУ ім. Тараса Шевченка).

Із звітом про діяльність УФТ упродовж періоду після VI з'їзду (червень 2004 року) виступив Президент УФТ – завідувач відділення "Фізика поверхні та мікроелектроніка" Інституту фізики напівпровідників НАН України, член-кореспондент НАН України, професор В. Г. Литовченко.

Із звітами виступили віце-президенти УФТ:

– С. Г. Неділько "Про роботу УФТ з міжнародними організаціями";

– В. А. Сминтина "Проведення наукових конференцій Українським фізичним товариством";

– І. В. Стасюк "Розвиток фізичної науки та освіти в Західній Україні";

М. Ф. Шульга "Популяризація наукових досягнень у фізиці та робота з молоддю у Харкові";

– В. А. Шендеровський "Духовне відродження України – один з пріоритетних напрямів діяльності УФТ".

Учасники з'їзду на посаду Президента УФТ запропонували дві кандидатури: завідувача відділенням "Фізика поверхні та мікроелектроніка"

Інституту фізики напівпровідників НАН України, члена-кореспондента НАН України *В. Г. Литовченка* та завідувача відділу фізики магнітних явищ Інституту фізики НАН України, члена-кореспондента НАН України *С. М. Рябченка*.

На посади віце-президентів УФТ обрано:

– проректора з навчальної та інноваційної роботи Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, члена-кореспондента НАН України *М. О. Азаренкова*;

– завідувача відділу Інституту фізики конденсованих систем НАН України, члена-кореспондента НАН України) *І. В. Стасюка*;

– ректора Одеського національного університету, професора *В. А. Смиртину*;

– головного наукового співробітника Інституту фізики НАН України, професора *Є. О. Тихонова*;

– директора Інституту теоретичної фізики ННЦ “Харківський фізико-технічний інститут”, члена-кореспондента НАН України *М. Ф. Шульгу*;

– провідного наукового співробітника Інституту фізики НАН України, професора *В. А. Шендеровського*;

– завідувач кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка, професора *В. М. Яцука*.

VII з’їзд Українського фізичного товариства ухвалив:

1. Роботу Бюро Координаційної ради УФТ визнати задовільною. Відзначити роботу президента УФТ та схвалити роботу віце-президентів УФТ.

2. Внести зміни до статуту УФТ, ухвалені на з’їзді, щоб активізувати діяльність УФТ.

3. Звернутись до Міністерства освіти і науки України, до комітету Верховної Ради України з питань науки і освіти з пропозиціями щодо внесення змін до закону України “Про вищу освіту” щодо демократизації систему управління вищими навчальними закладами.

4. Активізувати участь членів УФТ у проведенні експертизи наукових проєктів, підготовки державних наукових програм, а також у наукових радах за напрямками фізичних наукових досліджень при Президії НАН України та Міністерстві освіти і науки України.

5. Брати участь у формуванні концепцій законів України, щодо науки і освіти та інших напрямів, пов’язаних із застосуванням фізичних знань.

6. Звернутися до Міністерства освіти і науки України з пропозицією впровадити обов’язкове незалежне тестування з предметів природничого (фізика, хемія, біологія) та математично-інформаційного профілю (математика, інформатика, комп’ютерні науки) для всіх випускників шкіл без винятку.

7. Звернутися до Міністерства культури і туризму та Міністерства освіти і науки України з пропозицією виділити кошти для створення серії відеодисків із фільмами про визначних українських учених та їх розповсюдження по загальноосвітніх школах і впровадження у навчально-виховний процес.

8. Звернутися до Центрального комітету профспілки працівників Національної академії наук України та Президії НАН України з пропозицією створити спеціалізований фонд для надання допомоги талановитим молодим фахівцям в оренді житла.

9. Проводити наукові семінари УФТ та круглі столи з фізичних проблем, важливих для країни. Інформувати державні структури про позицію УФТ із обговорюваних проблем.

10. Поновити випуск електронного інформаційного бюлетеня УФТ щоквартально. Регулярно поповнювати поточною інформацією інтернет-сторінку УФТ. Розмістити на інтернет-сторінці списки членів товариства за місцевими осередками.

11. Поліпшити систему обміну інформацією з членами УФТ (про наукові конференції, гранти) шляхом активнішого використання електронних засобів зв’язку та інформаційних стендів.

12. Ширше залучати молодих учених до участі в УФТ.

13. Розширити співпрацю з редколегіями науково-популярних видань з фізики (“Світ фізики”, “Світ науки”, “Світогляд”, “Країна знань”).

14. Створити комісію Координаційної ради УФТ з питань освіти та зв’язків із Європейським фізичним товариством (ЕФТ).

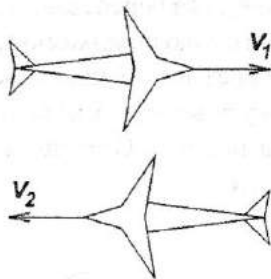
15. Оперативно інформувати членів УФТ про нові форми співпраці та взаємодії з ЕФТ (гранти, аспірантура, підтримка молодих науковців, стажування).

Умови задач XLV Всеукраїнської олімпіади з фізики Вінниця, 2008 р.

8-й клас

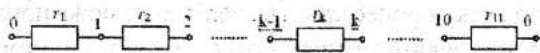
Задача 1.

Два літаки рухаються із надзвуковою швидкістю горизонтально прямолінійно зустрічними курсами, перебуваючи в одній вертикальній площині на різних висотах (див. мал.). У деякий момент часу літак 1 виявився точно над літаком 2. За час $t_1 = 1,8$ с після цього другий пілот почув звук від першого літака. В який момент часу t_2 перший пілот почув звук від другого літака? Швидкість звуку в повітрі $u = 324$ м/с, швидкості літаків стали й дорівнюють: $v_1 = 405$ м/с, $v_2 = 351$ м/с.



Задача 2.

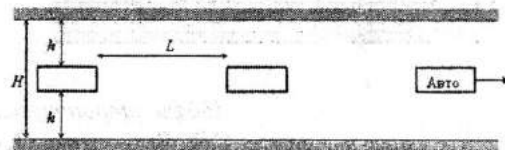
Із одинадцяти послідовно з'єднаних резисторів (див. мал.) опорами від 1 Ом до 11 Ом ($r_k = k$ Ом) шляхом з'єднання двох крайніх клем 0 утворено замкнуте коло. Клеми зберегли нумерацію від 0 до 10. До яких клем треба приєднати вхідний та вихідний провідники, щоб опір між ними був найбільшим? Чому цей опір дорівнює?



Задача 3.

Під час змагань тонку пряму і достатньо легку трубу треба перенести у горизонтальному положенні через дорогу, якою їдуть бутафорні автомобілі. Дорога обмежена з двох боків паралельними стінками (див. мал.). Перемагає та команда,

яка перенесе трубу найбільшої довжини, не потрапивши в "аварію". Запропонуйте такий спосіб перенесення труби командою, щоб довжина труби була найбільшою. Знайдіть цю довжину. Перекидати трубу через автомобілі заборонено. Швидкість руху автомобілів стала, $u = 12$ м/с, максимальна швидкість, з якою з трубою можуть узгоджено бігти члени команди, $v = 3$ м/с. $H = 9$ м, $h = 3,6$ м, $L = 8$ м.



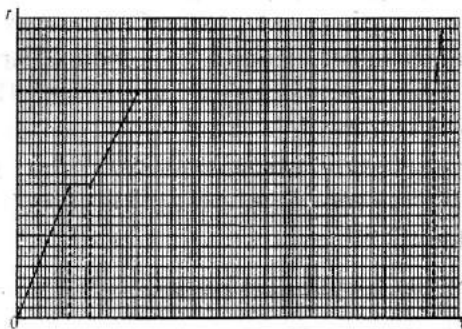
Задача 4.

Воду можна охолодити без перетворення в лід нижче температури $t_0 = 0$ °С. Процес кристалізації води може початися за певної температури $t < t_0$. Лід, що утворюється, відрізняється за своїми фізичними властивостями від звичайного льоду, одержаного при температурі 0 °С. Визначте, чому дорівнює питома теплота плавлення льоду l_2 при температурі $t_1 = -10$ °С. В інтервалі температур від (-10 °С) до 0 °С питома теплоємність води дорівнює $c_1 = 4,17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С), питома теплоємність льоду – $c_2 = 2,17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·°С). Питома теплота плавлення льоду при температурі 0 °С дорівнює $l_1 = 3,32 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Задача 5.

Останнім часом все ширше застосовуються композитні матеріали. Одне із застосувань композитів – це тепловий захист космічних апаратів, які з великою швидкістю входять в атмосферу Землі й сильно розігріваються. Запропонований для теп-

лового захисту композит є пористою керамікою, що заповнена металом. Пори з'єднані між собою і мають виходи. Під час випробувань зразку композиту передавали постійну теплову потужність, починаючи з температури $0\text{ }^\circ\text{C}$. Аналізуючи графік експериментальної залежності температури t від часу τ (див. мал.), визначіть, яким саме металом була наповнена кераміка, а також знайдіть його питому теплоємність у рідкому стані, температуру кипіння і питому теплоту пароутворення металу.



Задачі запропонували:
С. У. Гончаренко (1, 4),
А. П. Федоренко (2),
О. Ю. Орлянський (3, 5)

9-й клас

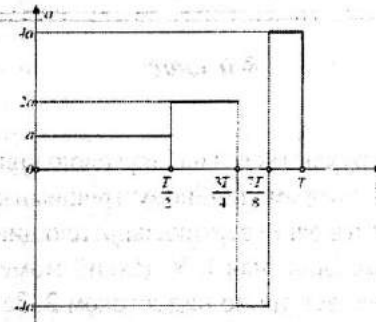
Задача 1.

Гімнастка кидає обруч у вертикальній площині вздовж підлоги зі швидкістю $V_0 = 4\text{ м/с}$, закрутивши його з кутовою швидкістю $\omega = 40\text{ с}^{-1}$ так, що він, торкнувшись підлоги, повернувся назад, не відриваючись від неї. Діаметр обруча $D = 1\text{ м}$. Не враховуючи можливих втрат тепла обручем, знайдіть найбільше можливе підвищення його температури внаслідок тертя після повернення, якщо питома теплоємність матеріалу обруча $C = 880\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Задача 2.

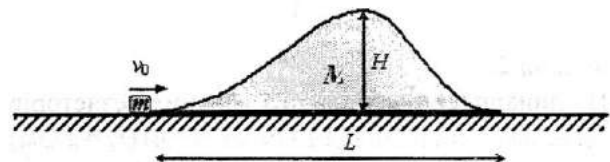
Щоразу, коли спортивний автомобіль проходить уздовж замкненої горизонтальної траси зі сталюю за величиною швидкістю v , акселерометр фіксує

пришвидження, графік яких $a(t)$ зображений на малюнку. Вважаючи, що час проходження траси T та пришвидження a задані, визначіть швидкість руху автомобіля v та довжину траси S . Зобразіть траєкторію руху, вказавши її параметри.



Задача 3.

Гірка масою M , заввишки H і завдовжки L може переміщатися вздовж гладенької горизонтальної поверхні. На гірку, яка перебуває у стані спокою, найжджає з початковою швидкістю v_0 тіло масою m (див. мал.) і через деякий час t з'їжджає з гірки на горизонтальну поверхню. Визначіть шлях, який пройде гірка за цей час. Силами тертя, опором повітря знехтуйте.



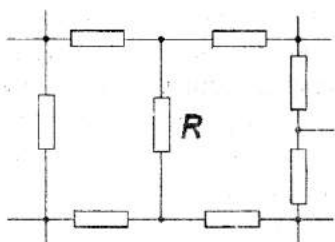
Задача 4.

Воду можна охолодити без перетворення в лід нижче температури $t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$. Залежно від зовнішнього тиску процес кристалізації води може початися при певній температурі $t < t_0$. Лід, що утворюється при цьому, відрізняється за своїми фізичними властивостями від звичайного льоду, одержаного при температурі $0\text{ }^\circ\text{C}$. Визначте, чому дорівнює питома теплота плавлення льоду l_2 при температурі $t_1 = -10\text{ }^\circ\text{C}$. В інтервалі температур від $-10\text{ }^\circ\text{C}$ до $0\text{ }^\circ\text{C}$ питома теплоємність води дорівнює $c_1 = 4,17 \cdot 10^3\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$, питома теплоєм-

ність льоду – $c_2 = 2,17 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К). Питома теплота плавлення льоду при температурі 0°C дорівнює $l_1 = 3,32 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Задача 5.

Коло (див. мал.) складається з резисторів, опір яких невідомий. Як, маючи амперметр, вольтметр, джерело струму і з'єднувальні провідники, виміряти опір R , не розриваючи жодного контакту в колі?



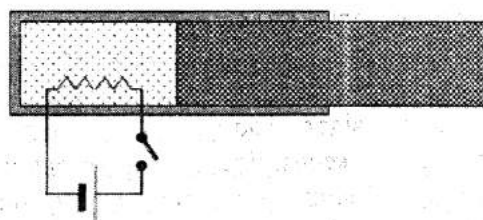
Задачі запропонували:

В. П. Сохацький (1), А. П. Федоренко (2),
О. Ю. Орлянський (3), С. У. Гончаренко (4–5)

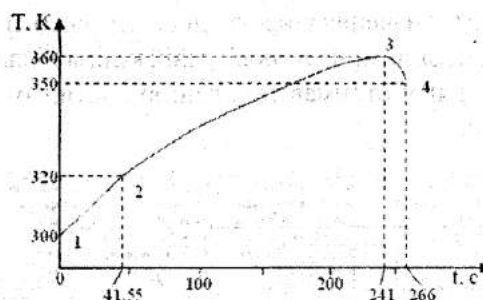
10-й клас

Задача 1.

Один моль двоатомного ідеального газу (5 ступенів вільності) знаходиться в циліндричній посудині під легким поршнем (мал. 1). У початковому стані газ мав температуру 300 K і займав половину об'єму посудини. На мал. 2 зображено залежність температури газу від часу після увімкнення нагрівача потужністю 10 Вт (ділянка 1–2 лінійна). Знайдіть рівняння газових процесів на ділянках 1–2 та 2–3–4. Як змінюється теплоємність газу зі збільшенням його об'єму? Система теплоізолювана, теплоємності поршня і стінок посудини значно менші від величини від теплоємності газу. Зовнішній тиск p_A дорівнює атмосферному.



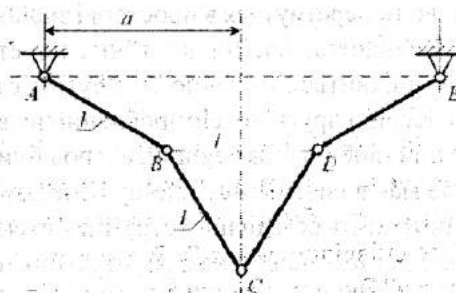
Мал. 1



Мал. 2

Задача 2.

Чотири однорідні стрижні однакової маси m та однакової довжини l , що з'єднані між собою та зі стійкою шарнірно, підвішені так, як зображено на малюнку. Відстань між шарнірами A і E дорівнює $2a$. При цьому $2a = l(1 + \sqrt{3})$. Шарніри B і D з'єднані ниткою, довжина якої l . Нитку миттєво перерізають. На скільки зміститься шарнір C при переході системи із початкового в положення стійкої рівноваги? Яка кількість теплоти виділиться за час, коли система набуде стійкої рівноваги?



Задача 3.

Супутникові навігаційні системи дають змогу визначати місцезнаходження і швидкість руху у будь-якій точці земної кулі. Супутник передає сигнал, який містить інформацію про точний час його від-

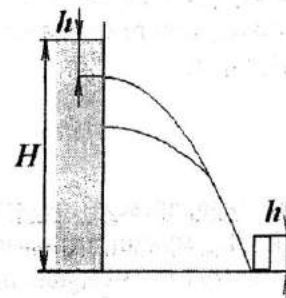
правлення і координати супутника на цей момент. Приймач реєструє час надходження сигналів від декількох супутників і за затримкою кожного сигналу обчислює відстані до супутників, а водночас і своє точне положення. Для цього треба приймати сигнали щонайменше від чотирьох супутників, щоб врахувати неточність ходу годинника приймача. Вважатимемо, що супутники рухаються по коловим орбітам з радіусами $r = 20\,000$ км точно. Визначіть значення широти, довготи і висоти над рівнем моря людини на повітряній кулі, мобільний телефон якої отримав такі дані від чотирьох супутників:

№ супутника	Час отримання сигналу (годинник приймача)	Час відправлення сигналу за інформацією супутника (точний час)	Широта супутника в момент відправлення сигналу	Довгота супутника в момент відправлення сигналу
1	10 год 12 хв 13,1600 с	10 год 12 хв 13,1121 с	45°00'00" південна	0°00'00"
2	10 год 12 хв 13,1601 с	10 год 12 хв 13,1122 с	45°00'00" північна	0°00'00"
3	10 год 12 хв 13,1602 с	10 год 12 хв 13,1123 с	45°00'00" північна	90°00'00" східна
4	10 год 12 хв 13,1463 с	10 год 12 хв 13,1120 с	0°00'00"	45°00'00" східна

Земля має приплюснуту форму: екваторіальний радіус $R_e = 6378,15$ км, полярний $R_p = 6356,80$ км. Швидкість світла у вакуумі 299792458 м/с.

Задача 4.

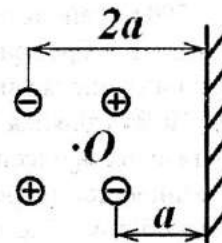
На підлозі стоїть велика циліндрична діжка, заповнена рідиною до рівня $H = 1$ м. Крізь невеликий отвір, який зроблений у діжці на глибині $h = 10$ см, в горизонтальному напрямку b' є струмінь рідини і розбивається об підлогу поруч із циліндричною склянкою (див. рис.). Якщо в діжці під першим отвором зробити подібний йому другий отвір, струмені води перетнуться в просторі і зіллються в один. Визначіть, наскільки точка перетину струменів виявиться нижчою за другий отвір. Уявіть тепер, що другий отвір зроблений на чотверо більшій глибині, ніж перший, він подібний до нього, але має вдвічі меншу площу перерізу $S_2 = S_1/2$. Чи потрапить об'єднаний струмінь до склянки? За якого співвідношення S_2/S_1 струмінь перелетить стакан? Висота склянки $h = 10$ см, відстань від нього до діжки в шість разів більша від його діаметра.



Задача 5.

а) Деякий точковий заряд упродовж тривалого часу утримується на фіксованій відстані від нескінченної незарядженої площини з дуже малою провідністю. Тоді заряд швидко віддаляють від площини на відстань удвічі більшу початкової і утримують його в новому положенні. Яка кількість теплоти виділиться після цього в провідній площині, якщо відомо, що під час віддалення точкового заряду було виконано роботу 36 мкДж?

б) Квадратну рамку, у кутах якої розташовані точкові заряди $+q, (-q), +q, (-q)$, спочатку упродовж тривалого часу тримають у фіксованому положенні біля нескінченної незарядженої площини з дуже малою провідністю (див. мал.), а тоді швидко повертають на 90° навколо осі, що проходить через центр квадрата перпендикулярно до площини малюнка. Яка кількість теплоти виділиться після цього у провідній площині, якщо відомо, що під час повороту рамки було виконано роботу 36 мкДж?



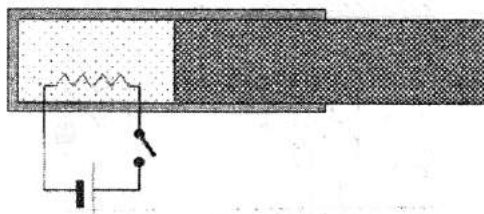
Задачі запропонували:

Б. В. Беляєв та С. В. Кара-Мурза (1),
А. П. Федоренко (2), О. Ю. Орлянський (3–4),
Є. П. Соколов (5)

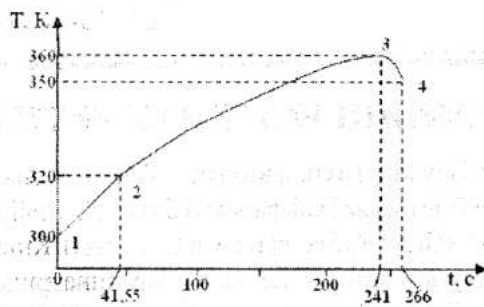
11 клас

Задача 1.

Один моль двоатомного ідеального газу (5 ступенів вільності) знаходиться в циліндричній посудині під легким поршнем (мал. 1). У початковому стані газ мав температуру 300 К і займав половину об'єму посудини. На мал. 2 зображено залежність температури газу від часу після увімкнення нагрівача потужністю 10 Вт (ділянка 1–2 лінійна). Знайти рівняння газових процесів на ділянках 1–2 та 2–3–4. Як змінюється теплоємність газу зі збільшенням його об'єму? Система теплоізольована, теплоємності поршня і стінок посудини значно менші за величиною від теплоємності газу. Зовнішній тиск p_A дорівнює атмосферному.



Мал. 1



Мал. 2

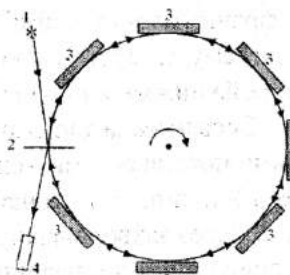
Задача 2.

Контур, складений із сполучених послідовно котушки індуктивності L та конденсатора ємністю C , підключених до джерела ЕРС. У моменти часу, коли напруга на конденсаторі досягає максимального значення, полярність джерела змінюється на протилежну. Якою буде максимальна напруга на конденсаторі після n таких перемикачів? Якою бу-

де максимальна напруга на конденсаторі за наявності енергетичних втрат у контурі? Опір втрат r вважати значно меншим від характеристичного опору $r = (L/C)^{1/2}$. Через яке число перемикачів буде досягнута максимальна амплітуда напруги на конденсаторі?

Задача 3.

Хвиля довільної природи поширюється від джерела 1 (див. мал.). Кільцевий інтерферометр є диском радіуса R , який обертається з кутовою швидкістю ω навколо осі, яка проходить через його центр перпендикулярно до площини диска. Кількість розташованих уздовж кола дзеркал 3 прямує до нескінченності. На диску також розміщено напівпрозору пластинку 2 та приймач хвиль 4. Напівпрозора пластинка розділяє хвилю, яку випромінює джерело, на дві – одна хвиля поширюється по колу радіуса R в напрямку обертання диска, а друга – в протилежному. Швидкість хвилі відносно нерухомого диска V , а частота – ν . Нехтуючи зміною геометричних розмірів інтерферометра та поперечним зсувом зустрічних хвиль внаслідок проявів неінерціальних властивостей системи відліку, знайти різницю Δt часу проходження кільця кожною з зустрічних хвиль. Порівняйте цю різницю в випадку електромагнітних та акустичних хвиль. Чи залежить ця різниця від того, якою речовиною заповнений інтерферометр? Врахувавши, що приймач та джерело хвиль розташовані на відстані R від центра обертання, знайдіть різницю фаз зустрічних хвиль, які утворюють інтерференційну картину на приймачі.



Кільцевий інтерферометр: 1 – джерело випромінювання, 2 – світлоподільна пластинка (напівпрозоре дзеркало), 3 – дзеркала, 4 – фотоприймач. Стрілки показують напрямки обертання інтерферометра

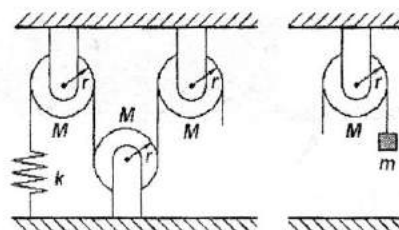
Задача 4.


Відомо, що під час зйомки зі спалахом або потужним підсвітлюванням від маленьких пилинок або краплин, наявних у повітрі, на знімку помітні круги (див. рис.). Поясніть фізичну природу цього явища. Припустивши, що за це явище відповідають саме краплинки, визначте відстань від об'єктиву камери до двох із них: тієї, що дає найбільше зображення (у центрі), і дещо меншої на фоні плеча людини. Радіус об'єктиву R можна оцінити в 1 см, відстань від об'єктиву до людини d в 3 м. Інші дані визначте, використовуючи фотографію. Уявіть собі, що у Вас є фотознімок, на однорідному фоні якого видно багато кругів різних розмірів та яскравості. Ви знайшли два однаково світлі

круги, які мають різні радіуси r_1 і r_2 . Вважаючи, що пилинки однакові, запропонуйте додаткове співвідношення для визначення характеристик фотоапарату. Об'єктив фотоапарату вважати тонкою лінзою.

Задача 5.

Ця система блоків (див. мал.). Через блоки перекинута тонка невагома нерозтяжна нитка. Всі $2n-1$ (n – натуральне число) блоків мають однакові маси M і радіуси r . Блоки можуть обертатися навколо своїх осей без тертя. Нитка не ковзає по блоках. Коефіцієнт пружності пружини k . Визначити період малих вертикальних коливань тягарця масою m після виведення його з положення рівноваги. Момент інерції кожного блоку вважайте $Mr^2/2$.



Задачі запропонували:

**Б. В. Беляєв та С. В. Кара-Мурза (1–2),
С. Й. Вільчинський (3), О. Ю. Орлянський (4),
С. У. Гончаренко (5)**

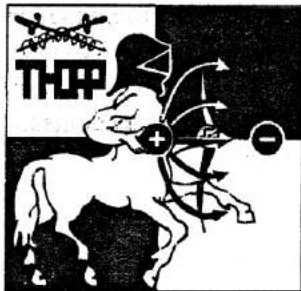
СТІВЕН ГОКІНГ РОЗКАЗАВ ПРО ТАЄМНИЦІ ВСЕСВІТУ ДІТЯМ

Знаменитий британський астрофізик Стівен Гокінг (Stephen Hawking) в співавторстві зі своєю донькою Люсі, письменницею і журналісткою, і своїм докторантом Крістофом Гальфаром (Christophe Galfard) написав книжку “Ключ до таємниць Всесвіту для Джорджа” (George's Secret Key to Universe). Книжка вийде з друку французькою та англійською мовами. За задумом авторів, це перша частина трилогії про Сонячну систему, астероїди, чорні діри та інші небесні тіла. Друга частина буде готова за рік.

Головний герой книжки, хлопчик Джордж, подорожує зі своїми друзями – вченим Еріком та його донькою Анні – Всесвітом за допомогою суперкомп'ютера “Космос”. За словами авторів, комп'ютер із надзвичайними можливостями – єдиний фантастичний елемент у книжці. “Наукової фантастики і так дуже багато. Ми пишемо про наукові факти”, – цитує Люсі Гокінг свого батька.

Стівен Гокінг через захворювання нервових волокон уже понад сорок років не володіє власним тілом і давно прикований до інвалідного візка, причому хвороба прогресує. Проте він відомий не лише як видатний фізик-теоретик, а й популяризатор науки. Його книжки незмінно мають успіх у широкої аудиторії, а книжка “Коротка історія часу”, що вийшла 1988 року, трималася в списку бестселерів лондонської газети *Sunday Times* майже чотири роки.

С. Гокінг читає публічні лекції, дає інтерв'ю, недавно побував в невагомості, а 2009 року планує побувати у космосі, щоб привернути увагу людства до освоєння інших планет. Щодо майбутнього життя на Землі науковець налаштований песимістично.



Умови задач

XVII Всеукраїнського відкритого турніру юних фізиків 2008/2009 навчального року

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

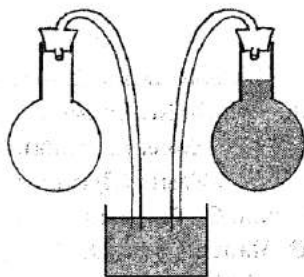
*Кузьма Прутков,
афоризм № 7*

1. "Придумай сам"

Є циліндричний гальванічний елемент, з'єднані провідники, шуруп і магнет. Виготовте з цих матеріалів електричний двигун, у якому функцію ротора виконуватиме шуруп. Дослідіть, від чого залежить корисна потужність цього двигуна.

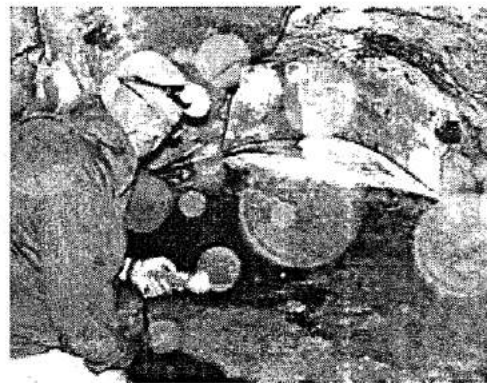
2. "Усе вище та вище..."

Є дві колби: одна з невеликою кількістю води, а друга – порожня. Обидві колби закривають корками. У корки вставлено гнучкі трубки, другий кінець яких опущено у воду (рівень води нижчий від рівня корків). Колби нагрівають до 100 °C і підтримують цю температуру упродовж деякого часу. Нагрівання припиняється, і колби остигають природним шляхом. Вода по трубках починає підніматися догори. Дослідіть та опишіть, в якій із систем вода піднімається швидше і на більшу висоту. Як ефект залежить від часу прогрівання колб?



3. "НЛО"

Під час фотографування з використанням фотоспалаху на світлині можуть з'явитися яскраві диски, такі як на малюнку. Дослідіть і поясніть це явище.

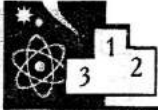


4. "Мобільний резонанс"

Помістіть мобільний телефон у металевий контейнер з отвором. Дослідіть, за яких умов мобільний телефон починає дзвонити під час набору його номера з іншого телефону.

5. "Зв'язані компаси"

Помістіть два однакові компаси на стіл недалеко один від одного. Струсіть один з них так, щоб його стрілка почала коливатися. Стрілка іншого компаса також почне коливатися. Дослідіть і поясніть поведінку цих зв'язаних осциляторів.

**6. “Стрибаюча крапля”**

Досліджуйте рух крапель води, що падають на поверхню, яка не змочується, наприклад, покриту сажею або тефлоном.

7. “Карусель”

Помістіть пластикову склянку на тонкий шар рідини, яку налито на пласку тверду поверхню. Приведіть склянку в обертання. Від яких параметрів залежить її кутове пришвидшення?

8. “Стеариновий двигун”

Свічку урівноважено на горизонтальній голці, що розташована поблизу її центра мас. Якщо свічку запалити з обох боків, то вона може почати коливатися. Дослідіть явище. Як можна досягти максимальну потужність такого “двигуна”?

9. “Гаряча голова”

Розташуйте гарячу металеву кулю на паралельні горизонтальні рейки. Куля почне рухатися. Опишіть її рух. Чим визначається швидкість кулі?

10. “Прутик-стрибунець”

Діти деколи бавляться цікавою грою – гнучкий довгий прутик під час ходьби одним кінцем штовхають попереду себе по поверхні дороги. Він згинається і підскакує. Опишіть, від чого залежить характер руху кінчика прутика?

11. “Сушимо білизну”

Дослідіть процес висихання мокрого аркуша паперу, що висить вертикально. Як буде зміщуватися межа між сухою і вологою частинами аркуша? Які чинники на це впливають?

12. “Зупиніть падіння”

Досвідчені офіціанти, наливаючи напої, уникають стікання крапель по стінках пляшки особливим її поворотом. Дослідіть, як потрібно рухати пляшку, щоб по ній не стікало ані краплі.

13. “Трансформатори”

Простий закон трансформації зв’язує відношення вихідної та вхідної напруги із відношенням числа витків в обмотках. Дослідіть, як впливає зміна частоти струму та інших параметрів на неідеальну поведінку трансформатора.

14. “Лопавка”

Оцініть характеристики звуку, що виникає в момент, коли лопається поліетиленовий пакетик. Поясніть та опишіть його природу.

15. “Сага про вічний двигун”

Скрутіть із дуже тонкого дроту невелику спіраль, злегка змастіть її гідрофобною сумішшю і акуратно покладіть на воду. Тоді наберіть піпеткою декілька крапель мильного розчину та крапайте в центр спіралі. Дослідіть та опишіть спостережуваний рух спіралі.

16. “Електроосцилятор”

До середини горизонтального дроту підвішено вантаж. Коли крізь дріт пропускають постійний струм, вантаж може почати коливатися. Опишіть і поясніть це явище.

17. “Я пишу, а паперу мені все замало”

*Да – всем, бредущим по стопам Творца,
Помимо сердца, разума, отваги
И дара трогать звуками сердца, –
Нужна ещё корзина для бумаги:
Ведь то, что создаётся на века, –
Не удаётся без черновика.*

Борис Заходер

Зімімо звичайний аркуш паперу. На аркуші утворюється випадкова сітка складок. Опишіть зв’язок характеристик сітки складок із радіусом грудки.

Задачі запропонували:

О. Орлянський (Дніпропетровськ),
І. Анісімов, О. Кельник, Б. Кремінський,
О. Хоменко (Київ), О. Л. Камін,
О. О. Камін (Луганськ), П. Віктор,
В. Колебошин, С. Колебошин, В. Кулінський,
О. Майтвейчук, О. Філатова (Одеса),
І. Гельфгат, І. Колупасєв (Харків)

Правила руху у розв'язанні задач із фізики

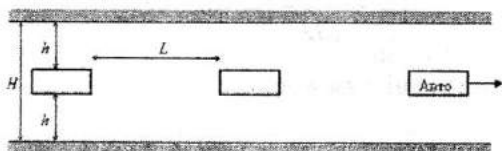
Олег Орлянський,

завідувач кафедри теоретичної фізики
Дніпропетровського національного університету

На 45-й Всеукраїнській олімпіаді з фізики, що проходила у Вінниці з 23 до 29 березня 2008 року, школярам 8-го класу запропонували своєрідну задачу-рекорд, метою якої було відшукати найефективнішу стратегію для перемоги у змаганнях (в авторському варіанті – у телевізійному шоу з правил дорожнього руху).

Під час змагань тонку, пряму і достатньо легку трубу треба перенести у горизонтальному положенні через дорогу, якою їдуть бутафорні автомобілі. Дорога обмежена з двох боків паралельними стінками (див. рис.). Перемагає та команда, яка перенесе трубу найбільшої довжини, не потрапивши в "аварію". Запропонуйте такий спосіб перенесення труби командою, щоб довжина труби була найбільшою. Знайдіть цю довжину.

Перекидати трубу через автомобілі заборонено. Швидкість руху автомобілів стала, $u = 12$ м/с, максимальна швидкість, з якою з трубою можуть узгоджено бігти члени команди, $v = 3$ м/с, $H = 9$ м, $h = 3,6$ м, $L = 8$ м.



Можливо доречніше було б запропонувати цю задачу школярам 9-го класу, але ж коли виникає несподіваний конкурс, над досвідом часто бере перевагу кмітливість та воля до перемоги. Цього ж восьмикласникам не позичати! До того ж, на думку автора, навіть серед школярів старших класів кількість стовідсоткових переможців виявилась

би не набагато більшою. Річ у тім, що нестандартні задачі часто вимагають нестандартних підходів. Журі олімпіади, до речі, продемонструвало подібну гнучкість під час перевірки, наблизившись у чомусь до суддів спортивних змагань: у змаганні перемагає той, хто покаже найкращий результат, тому встановлювати світовий рекорд, взагалі кажучи, не обов'язково. Хоча й дуже хотілося б його побачити.

Що ж за нестандартний підхід міг привести восьмикласника до рекорду? Досвідчена людина в цьому напрямку зробила б тільки перший крок, оцінивши обмеження на можливу довжину труби, тобто ті межі, у яких слід очікувати відповідь. Знайшовши максимальну довжину труби (мінімальна – нуль), яку загалом можна протиснути між стінками і автомобілями, поважна людина напевно не гадала б як досягти найліпшого результату, а перейшла до стандартних і надійних методів розв'язування, пам'ятаючи, що майбутня відповідь не має виходити за знайдені обмеження. "Ніколи не приступай до обчислень, доки не знаєш відповіді", – якось зауважив видатний фізик-теоретик Джон Арчібальд Віллер.

Але зовсім інша поведінка притаманна юності! Тільки найкращий результат, ніяких компромісів! Чи можна перенести дуже довгу трубу? Ні не пролізе.

А трохи меншу, а якщо її повернути, якщо впритул до стінки та автомобілів?

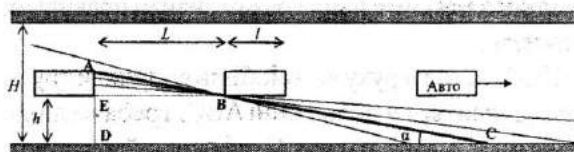


Рис. 1

На рис. 1 тонкими лініями зображено декілька положень довгих труб, які, на жаль, не “пролізають” між автомобілями з одного боку дороги на іншу через геометричні обмеження, і жирною лінією ABC – дещо коротшу трубу, але найдовшу з тих, які геометрично можуть це зробити. Трубу ABC зображено у критичний момент проходження найвужчого місця. Щоб краще це уявити, слід подумки поворушити трубу, або спробувати зрушити з місця довші труби спочатку в одному, а тоді у зворотному напрямках. Довжина труби ABC знаходиться з подібності трикутників AEB і ADC

$$\left(DC = \frac{AD \cdot EB}{AE} = \frac{(H-h) \cdot L}{H-2h} = 24 \text{ м} \right)$$

та теореми Піфагора:

$$AC = \sqrt{AD^2 + DC^2} = \sqrt{(H-h)^2 + DC^2} = \sqrt{5,4^2 + 24^2} \text{ м} = 24,6 \text{ м}.$$

Довшу від AC трубу за умови її прямолинійності, горизонтального положення, заборони перекидання через автомобілі та обмеження дороги паралельними стінками перенести не можна в принципі – не пролізе! Звісно, це не означає, що можна перенести трубу довжиною 24,6 метрів, адже автомобілі не стоять на місті, а швидкість руху гравців обмежена. Саме тому поважна людина почне розв’язувати задачу “за наукою”, а молода й недосвідчена, якій дуже хочеться бути найпершою і перемогти, почне витрачати час на пошуки способу перенесення довгезної понаддвадцятичотириметрової труби. Хто правий у цьому випадку покаже результат змагання. Чи є шанси у юного нахаби на перемогу? Безумовно є. У цій задачі. В іншій – навряд. Але ж історія знає чимало відкриттів, які робили молоді люди попри всі традиції та застереження. Можливо це й не педагогічно, але хочеться чомусь стати на бік юного максималізму і разом знайти правильну відповідь.

Щоб зі смуги руху автомобілів вилучити трубу, яка знаходиться у положенні ABC, треба не лише її змістити, а й повернути. Ось і перший висновок: якщо трубу рухати тільки поступально, довжина

24,6 м не досяжна. Чи здогадається поважна людина розглянути такий біг гравців із трубою, за якого та ще й обертається? Взагалі хотілося б розробити зрозумілі й прості інструкції гравцям і забезпечити, як кажуть, деякий запас міцності, щоб діяти напевно і звести ризик до мінімуму. Як кажуть, “мед, та ще й ложкою!” Насправді ці жорсткі вимоги (особливо, коли ще не знаєш, має взагалі задача розв’язок чи ні) дають змогу визначити, обрати з безлічі можливих стратегій ту, в якій труба під час руху дотикається до автомобілів або стін. Саме такі інструкції найпростіше виконати і саме вони забезпечують максимальний ефект. Отже, нехай спочатку гравці біжать так, щоб труба поверталася відносно нерухомої точки C, яка дотикається до стіни (рис. 2), і ковзала у точці B автомобіля. Так можна досягти критичного положення ABC із рис. 1.

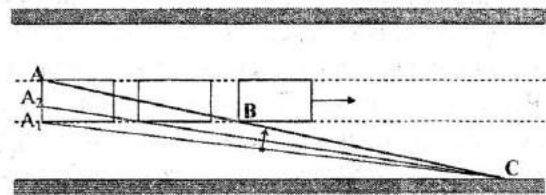


Рис. 2

У цей момент швидкість точки A труби буде найбільшою. Вона буде більша від швидкості точки B у стільки разів, у скільки відстань AC більша від відстані BC.

Із подібності трикутників (рис. 1)

$$\frac{AC}{BC} = \frac{AD}{ED} = \frac{H-h}{h} = 1,5.$$

Визначмо ці швидкості.

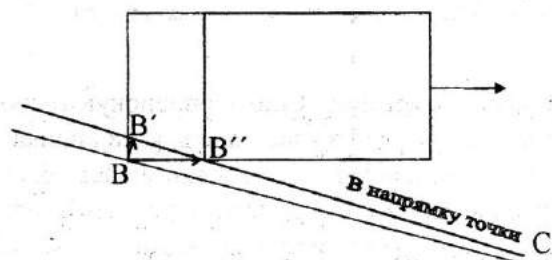


Рис. 3

У точці В труба дотикається автомобіля, і відстані, які проходять за невеликий проміжок часу Δt автомобіль $BB'' = u\Delta t$ і точка труби $BB' = v_B\Delta t$ (рис. 3) пов'язані одна з одною співвідношенням, яке знову ж таки можна знайти з подібності трикутників:

$$\frac{BB'}{BB''} = \frac{H-h}{AC} = \frac{5,4}{24,6} = \frac{9}{41}$$

Отже, $v_B = \frac{9}{41}u \approx 2,634 \text{ м/с}$.

Це менше, ніж максимальна швидкість гравців $v = 3 \text{ м/с}$ за умовою задачі, але ж є ще точка А, швидкість якої $v_A = 1,5v_B \approx 3,951 \text{ м/с}$ вже буде більшою! Виходить даремно втрачено час і потрібно шукати щось інше.

Невже безвихідь?

Ще раз уважно читаємо умову задачі. Обмеження $v = 3 \text{ м/с}$ стосується швидкості гравців, а не труби! Якщо не ставити гравців на кінці труби, а зосередити їх ближче до центру – все можливо! Принаймні на цьому етапі встановлення рекорду.

Як рухатись далі? Можна ще трохи повернути трубу – швидкість дозволяє, але найголовнішою проблемою вже стає точка С, яка найбільше затрималась з переміщенням на інший бік дороги. Якщо виходити з простоти інструкцій, слід розмістити одного гравця в точці В, яка ділить трубу у співвідношенні 1:2, і у критичний момент, коли край автомобіля буде проковзувати повз його частину труби, наказати, вигукнути команду, за якою далі всі побіжать прямо в перпендикулярному до труби напрямку зі швидкістю цього гравця ($v_B = 2,634 \text{ м/с}$). Труба рухатиметься паралельно собі й проковзуватиме між двома автомобілями аж до критичного положення з іншого боку дороги, коли точка А труби доткнеться до узбіччя. Далі гравці пробігають ще раз уздовж кола, тепер уже з центром у точці А (рис. 4).

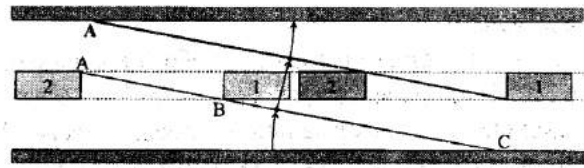


Рис. 4

Під час справжніх змагань, щоб гравці не зачепилися за другий автомобіль, доцільно трохи відхилитися від зображеної лінії поведінки і у прямому, і в переносному розумінні. Запас швидкості дає змогу це зробити. Можна або трохи повернути трубу, щоб вона не дотикалася другого автомобіля під час проходження повз нього гравців, або навіть ефектно перекинути трубу через голови частини гравців, але це вже вимагає ретельних тренувань.

Отже найкращий можливий результат виявимося цілком досяжним. І якщо проти нашої команди виступить команда легкоатлетів, чемпіонів світу та олімпійських ігор, яка бігає набагато швидше, тренується наполегливіше і не звикла комусь програвати, їй все одно ніколи так і не вдасться поліпшити наш рекорд, а, отже, нас перемогти.

То ж як треба розв'язувати задачу?

Якщо задача складна, по-перше, уявіть, що відбувається, по-друге, оцініть обмеження на можливі значення відповіді, а тоді, все ж спробуйте пройти по межі та одержати найкращий результат. Навіть, якщо з'ясується, що це неможливо, виникнуть нові обмеження, а дещо ви напевно краще зрозумієте, що завжди може статися у нагоді.

Безумовно, сказане насамперед відноситься до так званих задач-рекордів. Два наступні жартівливі приклади добре ілюструють успішність такого підходу.

1. Щоб зварити крашанку, треба протримати її 6 хвилин у кип'ятку. За який найкоротший час можна зварити 6 крашанок, маючи кастриольку на чотири крашанкомісця з кип'ятком?

Розв'язок.

Щоб зварити одну крашанку, треба 6 крашанкохвилин. Щоб зварити 6 крашанок, потрібно 36 крашанкохвилин, що формально відповідає $36/4 = 9$ хвилинам "роботи" повністю завантаженої кастрюльки. Отже, менше, ніж за 9 хвилин зварити 6 крашанок неможливо. Шукаємо розв'язок, який дає саме 9 хвилин. Спочатку кладемо 4 крашанки. За 3 хвилини дві крашанки витягаємо і замість них кладемо дві нові. Ще за 3 хвилини дві вже повністю зварені крашанки витягаємо, а на їхнє місце кладемо дві зварені наполовину (наполовину недоварені), наївно вважаючи, що

$$3 \text{ хв} + 3 \text{ хв} = 6 \text{ хв}.$$

Відповідь: 9 хвилин, якщо знехтувати охолодженням і часом на встановлення теплової рівноваги.

2. Безпритульник знайшов 10 недопалків. Із трьох недопалків він може зробити одну цигарку. Скільки повноцінних цигарок йому вдасться викурити?

Недорозв'язок.

Оцінімо максимально можливу кількість цигарок. Безпритульник під час куріння цигарки також залишає недопалок, отже знищує тільки 2 недопалки. Виходить, що максимальна кількість цигарок $10/2 = 5$. Але не зрозуміло, що тоді відбувається з недопалком останньої п'ятої цигарки, оскільки той має бути вже одинадцятим. До того ж правильна відповідь не 4 цигарки, а все ж таки 5!

На самісенькій межі, як часто і буває у задачах-рекордах (правда якийсь сумний вийшов рекорд у досить сумнівній задачі). Шукайте пояснення правильної відповіді!

А тепер повернімося до задачі з трубою. Як розв'язувала б задачу поважна людина? Мабуть перейшла б до системи відліку, що пов'язана з автомобілями, щоб замість двох взаємних рухів розглядати лише один. Знайшла б у цій системі обмеження на можливі напрямки руху гравців команди і на можливі нахили труби залежно від її довжини тощо, супроводжуючи громіздкими розрахунками...

	Трубу тримають перпендикулярно до дороги	Трубу тримають паралельно до дороги	Трубу тримають під кутом до дороги
Гравці біжать перпендикулярно до дороги	1	2	3
Гравці біжать під кутом до дороги	4	5	6

Восьмикласники ж переглядали різні прості можливості перенесення труби на інший бік дороги, ретельно аналізуючи всілякі варіанти. Схематично їхні підходи до задачі можна відобразити у вигляді таблиці.

Цю таблицю можна використати з тренувальною метою. Перед нами 6 задач, у яких задано стратегію поведінки, наприклад:

2. Гравці біжать перпендикулярно до дороги, трубу тримають паралельно до дороги. Визначіть найбільшу довжину труби.

До того ж, можна сформулювати й інші запитання, наприклад, про найбільшу швидкість автомобілей, за якої можна перенести трубу заданої довжини тим чи іншим способом, або найменшу швидкість гравців, або найбільший кут між напрямком руху і напрямком дороги тощо...

Спробуйте самостійно розв'язати шість запропонованих задач і придумати ще свою. Адже, крім віри у власні сили та відчайдушної хоробрості, треба володіти технікою обчислень та методами розв'язування задач. Для цього ж треба багато працювати, читати, думати і спілкуватися, а не "палити" за кутом школи мов той безпритульник, про якого була запропонована задача, здається, восьмикласникам на одній з московських економіко-математичних олімпіад.

Останні слова є підказкою до її розв'язку. Одинадцятий недопалок наче виконує роль каталізатора, як карбон у вуглецевому циклі перетворення водню на гелій у надрах нашого Сонця, як гарна книжка, яку ви берете в бібліотеці.

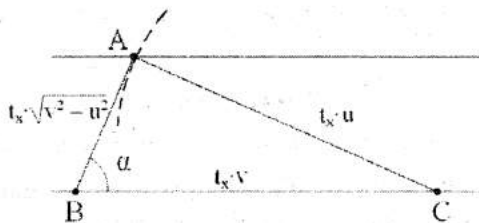
Але пам'ятаймо: карбон ще й зігріває життя на нашій планеті, а гарна книжка надихає життя духовністю.

РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ XLV ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Вінниця, 2008)

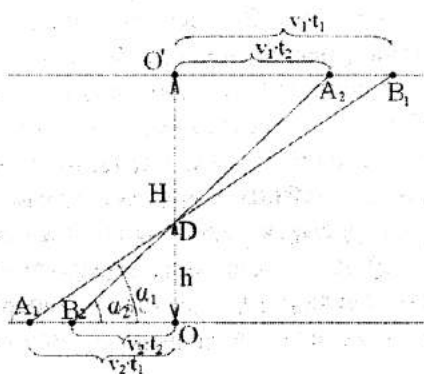
8-й клас

Задача 1.

На мал. 1 зображено положення літаків на момент отримання звукового сигналу літаком, що знаходиться в т. А від іншого літака, який в цю мить знаходиться в т. В. Але до літака у т. А доходить звук, який прийшов із т. С. Час t_x – затрачений на рух літака з т. С до т. В. Трикутник ABC є прямокутним, тому, що AB є дотичною до кола, що зображено пунктирною лінією, та є місцем точок, до яких дійшов звук із т. С за час t_x .



Мал. 1



Мал. 2

Із мал. 1 одержимо:

$$\text{tg} \alpha = \frac{u}{\sqrt{v^2 - u^2}}. \quad (1)$$

За теоремою Піфагора

$$AB = t_x \sqrt{v^2 - u^2}.$$

На мал. 2. зображено положення літаків на час, коли літак A_1 (A_2) почув звук від літака B_1 (B_2). Для цих випадків виконується співвідношення:

$$\frac{H}{(v_1 + v_2)t_1} = \text{tg} \alpha_1,$$

$$\frac{H}{(v_1 + v_2)t_2} = \text{tg} \alpha_2.$$

Звідси

$$t_2 = t_1 \frac{\text{tg} \alpha_1}{\text{tg} \alpha_2}.$$

Тоді, врахувавши (1), маємо

$$t_2 = t_1 \frac{\sqrt{v_2^2 - u^2}}{\sqrt{v_1^2 - u^2}}.$$

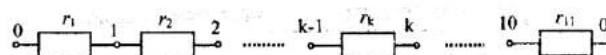
Підставивши значення швидкостей, маємо

$$t_2 = 1 \text{ с}.$$

Отже, перший літак почув звук від другого за 1 с після зустрічі.

Задача 2.

На малюнку з умови задачі маємо:



Мал. 1

Приєднавши провідники до клем кола, це коло утворює паралельне з'єднання двох еквівалентних резисторів опорам R_1 і R_2 , до того ж

$$R_1 + R_2 = r = \text{const} = \sum r_k = 1 + 2 + \dots + 11 = 66 \text{ Ом}.$$

Опір між клемми визначаємо з формули

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1 R_2}{r}.$$

Оскільки $r = \text{const}$, то, щоб опір R був максимальним, має бути максимальним добуток $R_1 R_2$.

$$\begin{aligned} R_1 R_2 &= R_1(r - R_1) = rR_1 - R_1^2 = \\ &= \frac{r^2}{4} - \left(\frac{r}{2} - R_1\right)^2 \end{aligned}$$

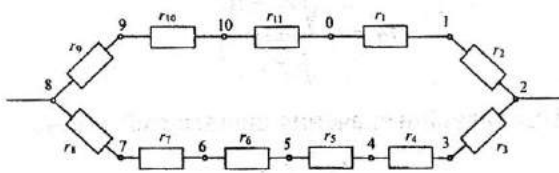
Очевидно, добуток буде максимальним, якщо

$$R_1 = \frac{r}{2}.$$

Тому $R_1 = R_2 = \frac{r}{2} = 33 \text{ Ом}.$

При цьому $R = \frac{r}{4} = 16,5 \text{ Ом}.$

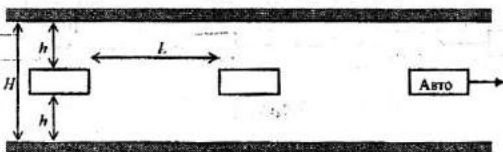
Залишилося встановити, чи можна реалізувати умову $R_1 = R_2 = 33 \text{ Ом}$. Щоб скоротити процес перебору, почнемо з найбільшого опору ($r_{11} = 11 \text{ Ом}$) і підемо в бік поступового зменшення опорів: $r_{11} + r_{10} + r_9 = 30 \text{ Ом}$. Якщо піти в інший бік і взяти ще опори r_1 і r_2 , одержимо 33 Ом. Отже, провідники треба приєднати до клем 2 і 8 (мал. 2).



Мал. 2

Задача 3.

Малюнок в умові задачі:



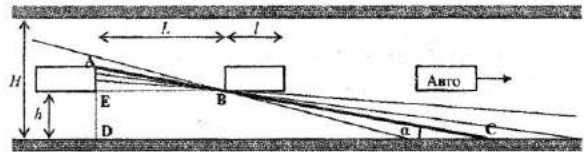
Якщо перейти в систему відліку, пов'язану з автомобілями, то вони будуть нерухомі, узбіччя дороги рухатиметься повз них у протилежному напрямку зі швидкістю $u = 12 \text{ м/с}$, а гравці з трубою пересуватимуться з відносною швидкістю v' , яку можна знайти із закону додавання швидкостей $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$. Як видно з малюнка, найбільша довжина труби S , що може "пролізти" між автомобілями, дорівнює відрізку AC , який неважко знайти із подібності трикутників ACD і ABE :

$$\frac{S}{\sqrt{L^2 + (H - 2h)^2}} = \frac{H - h}{H - 2h},$$

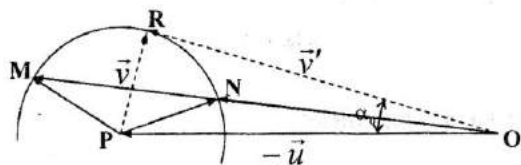
$$S = \frac{H - h}{H - 2h} \sqrt{L^2 + (H - 2h)^2} = 24,6 \text{ м}.$$

Кут α , який утворює AC з напрямком дороги знаходимо із співвідношення

$$\text{tg} \alpha = \frac{H - 2h}{L} = \frac{9}{40}, \quad \alpha \approx 12,68^\circ.$$



Залишається відповісти на запитання, як мають при цьому рухатись гравці й чи вистачить у них швидкості? Зазначмо, що для досягнення положення, зображеного на малюнку, труба мала перед цим повертатися. Відносна швидкість точки C труби безпосередньо перед зображеним на малюнку положенням була спрямована ліворуч уздовж обмеження дороги, відносна швидкість точки A мала дещо менше значення, оскільки проєкції швидкостей цих точок на напрямок труби однакові, а перпендикулярні відносяться як AB/BC ($AB < BC$). Але, якщо мова йде про відносну швидкість, її величина пов'язана з напрямком руху, до того ж, не всі напрямки руху можливі.





Відносна швидкість $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} = -\vec{u} + \vec{v}$ для довільних напрямків \vec{v} має зручне графічне відображення (див. рис.). Найбільший кут $\alpha_0 = \angle POR$, за якого можливий рух (з відносною швидкістю $v' = \sqrt{u^2 - v^2} = 3\sqrt{15}$ м/с $\approx 11,6$ м/с), знаходимо з прямокутного трикутника OPR , де

$$\sin \alpha_0 = \frac{v}{u} = 0,25; \alpha_0 \approx 14,48^\circ (\alpha_0 > \alpha, \text{ перебігти}$$

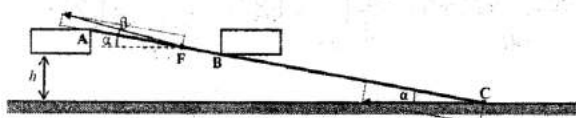
дорогу можливо). Для менших кутів відносна швидкість може знаходитись в інтервалі, який на рисунку відповідає відстаням між ON і OM (найбільший інтервал відносних швидкостей від $u - v = 9$ м/с до $u + v = 15$ м/с відповідає рухові уздовж напрямку дороги). Отже, траєкторія відносного руху гравця не може відхилитися від напрямку "ліворуч" більше ніж на кут α_0 , при цьому швидкість його руху залежить від напрямку руху. Визначмо, чи є на трубі точка (позначимо F), яка у найкритичніший момент рухається під кутом α_0 (див. мал.). Припустимо, що це так. Тоді кут, який утворює швидкість точки F з напрямком труби, $\beta = \alpha_0 - \alpha \approx 1,8^\circ$. Оскільки проєкції швидкостей точок F і C на напрямок труби однакові $v_F \cos \beta = v_C \cos \alpha$, а проєкції на перпендикулярний напрямок відносяться як відстані FB/BC , маємо

$$\frac{FB}{BC} = \frac{v_F \sin \beta}{v_C \sin \alpha},$$

звідси знаходимо, що

$$FB = BC \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \approx 0,14 BC \approx 2,3 \text{ м},$$

що значно менше відстані AB . Отже, перенести трубу такої довжини, тримаючи її за кінці, не можна. Але ж за умовою це не вимагається. Гравців треба розмістити поближче до центру труби, але під час змагань вони мають бігти так, щоб труба поверталася (труба за умовою легка).



Одна з можливих стратегій виглядає так. Два гравці беруть трубу поблизу від центру, розвертають її під кутом α і біжать так, щоб труба ковзала по задньому куту автомобіля (точка B), а віддалений кінець труби (точка C) ковзав уздовж обмеження дороги. Коли труба досягає критичного положення, можна рухатись з відносною швидкістю, спрямованою вздовж труби (виникає запитання, як гравці протиснуться між трубою і автомобілем), а можна ще трохи розвернувшись (кут α_0 це дозволяє) і змінивши напрямок руху чисто пробігти між автомобілями і досягти симетричного критичного положення з іншого боку дороги. І далі все повторити. Звісно це виглядає досить складно, але, як відомо, тренування, особливо якщо вони підкріплені мріями про вагомий призовий фонд, допомагають досягти успіху.

Наприклад, у системі відліку "дорога" гравці, взявшись за середину труби, починають бігти вздовж дуги кола радіусом $S/2$ з центром у нерухомій точці C на узбіччі, ковзаючи трубою у точці B автомобіля (див. мал.). У критичний момент, їхня швидкість v_1 знайдемо з умови проковзування в точці B :

$$u \sin \alpha = v_1 \frac{BC}{S/2}.$$

$$v_1 = \frac{3}{4} u \sin \alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{9}{41} \cdot 12 \text{ м/с} \approx 2 \text{ м/с}.$$

Як бачимо ніяких проблем бігти з такою швидкістю у гравців не буде. Далі, якщо вони продовжуватимуть поступально бігти у тому ж напрямку (перпендикулярно до труби) із середньою швидкістю

$$v_2 = u \sin \alpha = \frac{108}{41} \text{ м/с} \approx 2,634 \text{ м/с},$$

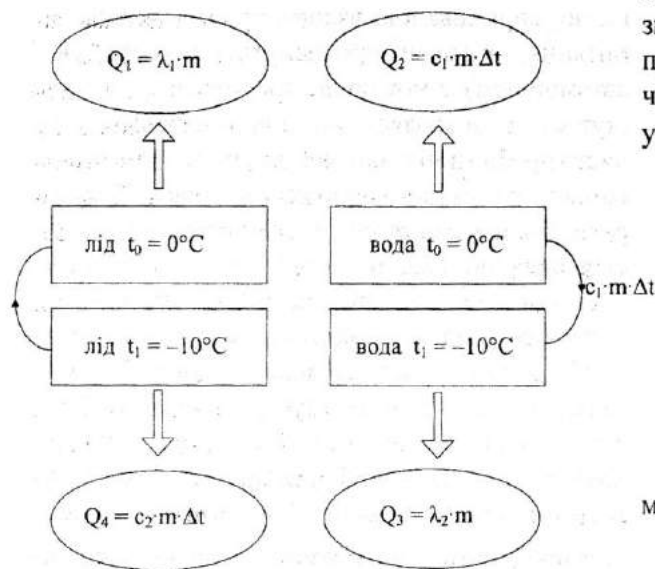
труба весь час буде проковзувати між двома автомобілями (відносна швидкість спрямована вздовж труби) аж до критичного положення з іншого боку дороги, коли точка A труби доткнеться до узбіччя. Тоді гравці роблять ще одну пробіжку вздовж кола з центром у точці A .

Задача 4.

Розв'язання задачі пояснює схема.

Зміна внутрішньої енергії води внаслідок двох різних переходів однакова, тому

$$\lambda_1 m + c_2 m \Delta t = \lambda_2 m + c_1 m \Delta t.$$



Звідси випливає, що

$$\lambda_2 = \lambda_1 + (c_2 - c_1) \Delta t,$$

$$\lambda_2 = 3,12 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}.$$

Задача 5.

Позначмо через x величину масштабного відрізка часу τ , а через y величину масштабного відрізка температури t .

Тоді на першому етапі кераміка з металом отримали кількість теплоти $Q_1 = 13xP$ і нагрілися до температури плавлення металу $t_n = 13y$ (y °C).

На другому етапі на розплавлення металу пішло $Q_2 = 5xP$ теплоти.

На третьому – розплавлений метал разом із керамікою нагрівся до своєї температури кипіння $t_k = 22y$, отримавши $Q_3 = 12xP$ теплоти.

На четвертому етапі метал випаровувався, забезпечивши велике поглинання теплоти у кількості $Q_4 = 73xP$.

На завершальному п'ятому етапі кераміка нагрівається вже без металу (вважаємо, що її теплоємність з підвищенням температури суттєво не змінилася). Запишемо рівняння для кожного етапу, позначивши масу і теплоємність кераміки через m_k і c_k , а масу металу та його теплоємність у рідкому стані через m і c' .

$$\begin{cases} 13y(cm + c_k m_k) = 13xP, \\ m\lambda = 5xP, \\ 9y(c'm + c_k m_k) = 12xP, \\ mr = 73xP, \\ 6yc_k m_k = 2xP. \end{cases}$$

Виразимо з останнього рівняння xP і підставимо в інші:

$$\begin{cases} cm = 2c_k m_k, \\ m\lambda = 15yc_k m_k, \\ c'm = 3c_k m_k, \\ mr = 219yc_k m_k. \end{cases}$$

Тепер з першого рівняння підставимо в інші $c_k m_k$:

$$\begin{cases} 2\lambda = 15yc, \\ c' = 1,5c, \\ r = 109,5yc. \end{cases}$$

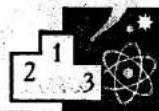
Оскільки $y = t_n/13$ перше рівняння дає змогу перевірити, яким металом було наповнено кераміку. Із графіка і підрахунків

$$\frac{t_n c}{\lambda} = \frac{26}{15} \approx 1,73.$$

За довідковими даними

$$\left. \frac{t_n c}{\lambda} \right|_{Al} \approx 1,56, \quad \left. \frac{t_n c}{\lambda} \right|_{Be} \approx 1,82, \quad \left. \frac{t_n c}{\lambda} \right|_{Li} \approx 1,27,$$

$$\left. \frac{t_n c}{\lambda} \right|_{Mg} = \frac{650}{375} = \frac{130}{75} = \frac{26}{15}.$$



Як бачимо, саме дані по магнію співпадають абсолютно точно. Отже, метал у кераміці – магній, його питома теплоємність у рідкому стані $c' = 1,5$ кДж/(кг · К), температура кипіння $t_k = 22y = \frac{22}{13}t_n = 1100$ °С, питома теплота випаровування $r = 5475$ кДж/кг.

9-й клас

Задача 1.

Зміну температури обруча можна визначити як різницю його повної (поступальної та обертальної) початкової та кінцевої енергій, віднесено до повної теплоємності:

$$\Delta T = \frac{E_{\text{пов}} - E_{\text{кін}}}{Cm}, \quad (1)$$

де m – невідома маса обруча.

Оскільки обруч рухається горизонтальною поверхнею, то зміна його енергії визначатиметься зміною кінетичної енергії. Запишімо вираз для енергії поступального руху у вигляді $\frac{mV^2}{2}$

обертального – $\frac{m\omega^2 R^2}{2}$, отже,

$$\Delta T = \frac{1}{C} \left[\frac{V_0^2}{2} + \frac{\omega^2 R^2}{2} - \frac{V_2^2}{2} - \frac{\omega_2^2 R^2}{2} \right], \quad (2)$$

де $R = \frac{D}{2}$; V_2 та ω_2 – поступальна та кутова швидкості обруча після зникнення проковзування, тобто $V_2 = \omega_2 R$.

Рівняння другого закону Ньютона:
– для поступального руху

$$F_{\text{тп}} = -m \frac{\Delta V}{t},$$

де $F_{\text{тп}} = kmg$ – сила тертя ковзання;

– для обертального руху:

$$kmg \cdot R = mR^2 \frac{\Delta \omega}{t},$$

де $\Delta \omega$ – зміна кутової швидкості за час t .

Розглядаючи окремо рух з моменту падіння до повної зупинки у найвіддаленішій від гімнастички точці, з цих рівнянь одержуємо:

$$V_0 = kg\tau \quad \text{та} \quad \omega_1 - \omega = -\frac{kg\tau_1}{R},$$

де ω_1 – швидкість обертання під час зупинки поступального руху.

Позбуваючись часу τ_1 :

$$\omega_1 = \omega - \frac{V_0}{R}.$$

Аналогічно для руху обруча до гімнастички від найвіддаленішої точки до моменту припинення проковзування, тобто зрівняння поступальної швидкості центра мас і лінійної швидкості точок обруча:

$$kmg = -m \frac{V_2}{\tau_2};$$

$$kmg \cdot R = mR^2 \frac{\omega_2 - \omega_1}{\tau_2}.$$

Звідси одержуємо:

$$V_2 = kg\tau_2 \quad \text{і} \quad \omega_2 = \omega_1 - \frac{kg\tau_2}{R} = \omega - \frac{V_0}{R} - \omega_2,$$

$$\text{або} \quad \omega_2 = \frac{1}{2} \left(\omega - \frac{V_0}{R} \right);$$

$$V_2 = \frac{1}{2} (\omega R - V_0).$$

Підставляючи одержані V_2 та ω_2 у рівняння (2), одержуємо кінцеву відповідь:

$$\begin{aligned} \Delta T &= \frac{1}{C} \left[\frac{V_0^2}{2} + \frac{\omega^2 R^2}{2} - \frac{(\omega R - V_0)^2}{4} \right] = \\ &= \frac{1}{4C} \left[V_0^2 + V_0 \omega D + \frac{(\omega D)^2}{4} \right] \approx 0,16 \text{ К} \end{aligned}$$

Задача 2.

Оскільки швидкість руху стала, а пришвидшення не дорівнює нулеві, робимо висновок, що мова йде про нормальну складову пришвидшення. Поки нормальне пришвидшення стало, відповідна ділянка траси є частиною кола радіуса

$$R_i = \frac{v^2}{a_i}.$$

За допомогою графіка легко встановити, що

$$R_1 = 2R_2 = 4R_3 = 4R_4.$$

Довжина кожної ділянки $S_i = \alpha_i R_i = vt_i$, тому відповідно її центральний кут дорівнює:

$$\alpha_1 = \frac{vT}{2R_1};$$

$$\alpha_2 = \frac{v\left(\frac{3T}{4} - \frac{T}{2}\right)}{R_2} = \frac{vT}{2R_1};$$

$$\alpha_3 = \frac{v\left(\frac{7T}{8} - \frac{3T}{4}\right)}{R_3} = \frac{vT}{2R_1};$$

$$\alpha_4 = \frac{vT}{2R_1}.$$

Отже, за модулем $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha$.

Зміна напрямку нормального пришвидшення (зміна знаку) означає, що на третій ділянці спостерігається правий поворот.

Враховуючи, що за повне коло автомобіль робить повний оберт на кут 2π і при цьому на третій ділянці повертається в протилежному напрямку, одержимо:

$$\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_3 + \alpha_4 = 2\pi.$$

Тому $\alpha_i = \pi$.

Оскільки

$$v = \frac{\pi R_1}{t_1} \text{ та } a_1 = \frac{v^2}{R_1},$$

то $R_1 = a_1 \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2.$

Отже, швидкість руху буде

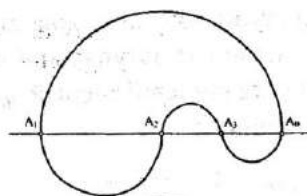
$$v = \frac{a_1 T}{2\pi}.$$

Довжина траси

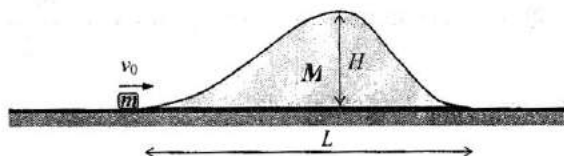
$$S = vT = \frac{a_1 T^2}{2\pi}.$$

Профіль траси складається з чотирьох півкіл, (див. мал.).

$$A_0 A_1 = 2R_1; \quad A_1 A_2 = R_1; \quad A_2 A_3 = A_3 A_0 = 0,5R_1.$$


Задача 3.

Із малюнка умови задачі:

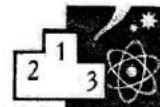


Тіло може з'їхати з гірки назад, а може переїхати гірку і з'їхати з іншого боку (спереду). Визначмо, за якої умови це відбувається.

Якщо швидкість поступово збільшувати, тіло підніматиметься на більшу висоту. Особливий випадок, коли тіло піднімається на верхівку гірки з нульовою відносно неї швидкістю.

Розглянемо для цього випадку закони збереження імпульсу та енергії відносно нерухомої системи відліку

$$\begin{cases} mv_0 = (m + M)v, \\ \frac{mv_0^2}{2} = \frac{(m + M)v^2}{2} + mgH. \end{cases}$$



Знаходимо, якщо

$$v_0 < \sqrt{2\left(1 + \frac{m}{M}\right)gh}$$

тіло не зможе піднятися на верхівку і з'їде назад через початкову точку, якщо ж

$$v_0 > \sqrt{2\left(1 + \frac{m}{M}\right)gh},$$

то тіло матиме, проходячи верхівку, більшу від гірки швидкість і з'їде попереду неї. Звісно, швидкість навантаженої тілом гірки буде змінюватись залежно від горизонтальної проекції сили, з якою тіло під час відносного руху тисне на гірку. Але, якщо розглянути систему з двох тіл, ця сила виявиться внутрішньою, а зовні у горизонтальному напрямку ніякі сили на цю систему не діють. Це означає, що центр мас увесь час рухатиметься зі сталою швидкістю

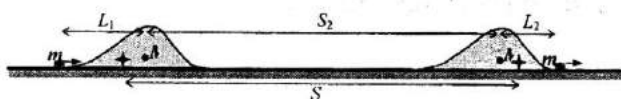
$$v_c = \frac{mv_0}{m+M}$$

і за час t зміститься на відстань

$$S = v_c t = \frac{mv_0 t}{m+M}.$$

Тоді у першому випадку, коли тіло з'їжджає з того ж боку, і центр мас системи відносно гірки набуває попереднього положення, гірка проїде таку ж відстань, як і центр мас:

$$S_1 = S = \frac{mv_0 t}{m+M}.$$



У другому випадку розгляньмо задачу докладніше (див. мал.). Як бачимо, відстань S_2 , яку пройшла гірка разом зі своїм центром мас (точка M), менша, ніж відстань S , яку пройшов центр мас системи тіл гірка + тіло (на рисунку позначено зірочкою $+$). Різниця цих відстаней складається з відстані між центрами мас гірки і системи тіл у

першому випадку $\frac{m}{m+M}L_1$ і у другому випадку

$$\frac{m}{m+M}L_2, \text{ тобто}$$

$$\begin{aligned} S_2 &= S - \frac{m}{m+M}L_1 - \frac{m}{m+M}L_2 = \\ &= S - \frac{m}{m+M}L = \frac{m}{m+M}(v_0 t - L). \end{aligned}$$

Не важко переконатися, що остання формула відповідає граничним випадкам, а саме: $S_2 \rightarrow 0$ якщо $m/M \rightarrow 0$ – гірка не відчуває легенького тіла. Щодо часу t , безумовно, цікавим є випадок, коли $t = L/v_0$ і за формулою $S_2 = 0$. Формули не бачать профіль нашої гірки і відповідають також на безліч запитань, які лежать поза конкретикою задачі. Уявімо, наприклад, гірку з прямим тунелем, скрізь який без затримки проходить тіло. Очевидно, $t = L/v_0$ і $S_2 = 0$.

Випадок $t < L/v_0$ також можливий. Якби гірка тягнулася не лише догори, а й донизу, ковзаючи, наприклад, по рейкам, і в неї був тунель, який спочатку спускався, а далі піднімався, ми б одержали зміщення гірки у зворотному напрямку $S_2 < 0$.

Нарешті у випадку, коли тіло мов би завмирає на верхівці гірки $v_0 = \sqrt{2\left(1 + \frac{m}{M}\right)gh}$, можна користуватися обома формулами, оскільки час такого підйому на зображену гірку нескінченно великий. У загальному випадку

$$S_{\text{гірки}} = \begin{cases} \frac{mv_0 t}{m+M}, & v_0 \leq \sqrt{2\left(1 + \frac{m}{M}\right)gh}, \\ \frac{m}{m+M}(v_0 t - L), & v_0 > \sqrt{2\left(1 + \frac{m}{M}\right)gh}. \end{cases}$$

Цікаво зазначити, що одержані відстані, які проїде гірка, не залежать від того чи відривається тіло від гірки у процесі руху чи ні, чи відсутня сила тертя між гіркою і тілом чи ні.

Якщо тіло повертається назад

$$S_1 = \frac{mv_0 t}{m + M},$$

якщо проходить вперед

$$S_2 = \frac{m}{m + M}(v_0 t - L),$$

навіть у тому випадку, коли воно летить, і в момент часу t просто покидає повітряний простір над гіркою.

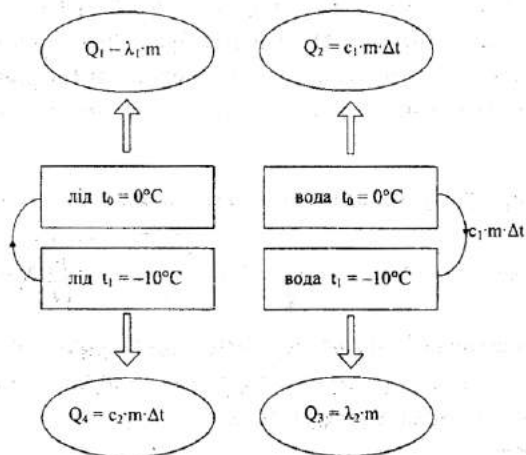
Нарешті для випадку малих сил тертя між гіркою і поверхнею, зазначимо, що відстань зменшиться, і якщо під час руху не буде зупинок, від

одержаних відповідей слід відняти $\frac{\mu g t^2}{2}$. Але,

звичайно, оцінка куди з'їде тіло має бути інша.

Задача 4.

Розв'язання задачі пояснює схема:



Зміна внутрішньої енергії води внаслідок двох різних переходів однакова, тому

$$\lambda_1 m + c_2 m \Delta t = \lambda_2 m + c_1 m \Delta t.$$

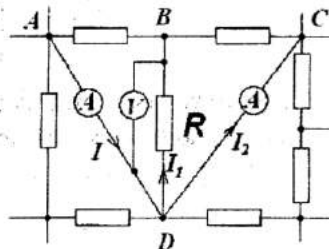
Звідси випливає, що

$$\lambda_2 = \lambda_1 + (c_2 - c_1) \Delta t,$$

$$\lambda_2 = 3,12 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}.$$

Задача 5.

Позначмо на схемі такі точки та опори.



Спочатку з'єднаймо точки A і D амперметром, точки C і D – провідником, до точок A і B під'єднаємо джерело струму, а до резистора R – вольтметр.

У цьому випадку через резистор проходимо струм I , через провідник I_2 .

$$I = I_1 + I_2. \quad (1)$$

Поміняємо провідник і амперметр місцями. Коло не зміниться, оскільки їхні опори однакові, у цьому випадку матимемо змогу амперметром визначити струм I_2 . Із рівності (1) знайдемо:

$$I_1 = I - I_2,$$

а шуканий опір буде:

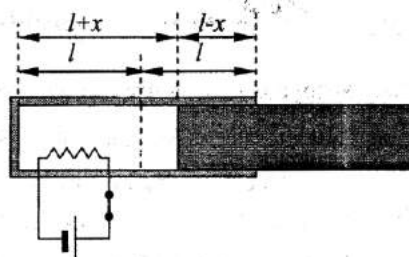
$$R = \frac{U}{I_1} = \frac{U}{I - I_2},$$

де U – показ вольтметра.

10-й клас

Задача 1.

Із малюнка з умови задачі:



Упродовж часу $t_1 = 41,55$ с температура газу лінійно зростає від $T_0 = 300$ К до $T_1 = 320$ К (див. ділянку графіка 1–2). Тому теплоємність газу буде:



$$C_{12} = \frac{Nt_1}{T - T_0} = \frac{10 \cdot 41,55}{20} = \frac{5}{2} R.$$

За умовою задачі газ двоатомний, то одержане значення теплоємності $C_{12} = C_V$. Це означає, що упродовж часу t_1 , після увімкнення нагрівника, поршень утримується силою тертя об стінки посудини, залишаючись нерухомим. Об'єм газу дорівнює V_0 .

Досягнувши температуру T_1 , тиск газу в посудині зростає до значення

$$p_1 = \frac{F}{S} + p_A, \quad (1)$$

де F – максимальне значення сили тертя спокою; S – площа перерізу поршня.

Поршень починає рухатись можливо з пришвидшенням. Рівняння руху поршня запишемо:

$$S \cdot p(x) - S \cdot p_a - F(x) = m\ddot{x}.$$

Оскільки за умовою задачі поршень легкий, то добуток $m\ddot{x} = 0$, тому

$$p(x) = p_a + \frac{F(x)}{S},$$

де $F(x)$ – сила тертя ковзання поршня по стінках циліндра в координаті x . Зважаючи на те, що сила реакції з боку стінок циліндра діє лише на частину поршня, запишемо:

$$F(x) = \frac{F(l-x)}{l}.$$

Тобто тиск газу змінюється за законом:

$$p(x) = p_A + \frac{F(l-x)}{S \cdot l} = p_1 - \frac{F \cdot x}{S \cdot l}, \quad (2, a)$$

тоді об'єм газу змінюється так:

$$V(x) = V_0 + xS = V_0 \left(1 + \frac{x}{l} \right). \quad (2, б)$$

Вилучивши з двох останніх рівнянь величину $\frac{x}{l}$, одержимо залежність тиску від об'єму:

$$\begin{aligned} p &= p_1 + \frac{F}{S} - \frac{F \cdot V}{S \cdot V_0} \\ &= (2p_1 - p_A) - (p_1 - p_A) \frac{V}{V_0} \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3) відповідає процесові, зображеному на графіку ділянкою 2–3–4. У цьому рівнянні невідома величина – тиск p_1 . Визначмо її з рівняння Менделєєва-Клапейрона, стосовно ділянки графіка 2–3–4.

$$RT(x) = V_0 \left(1 + \frac{x}{l} \right) \left(p_1 - \frac{F \cdot x}{S \cdot l} \right). \quad (4)$$

Тут температура $T(x)$ є квадратична функція від x . Температура газу досягає максимуму $T_m = 360$ К (див. мал.) при деякому значенні $\frac{x_m}{l}$, яке можна

визначити з умови екстремуму функції $T(x)$:

$$T(x) = \frac{V_0}{R} \left(p_1 + p_1 \frac{x}{l} - \frac{F}{S} \cdot \frac{x}{l} - \frac{F}{S} \cdot \left(\frac{x}{l} \right)^2 \right),$$

$$T'_x = 0,$$

$$\frac{V_0}{R} \left(\frac{p_1}{l} - \frac{F}{Sl} - \frac{F}{Sl^2} \cdot 2x_m \right) = 0,$$

$$\frac{p_1}{l} - \frac{F}{Sl} - \frac{RF}{Sl} \cdot \frac{x_m}{l} = 0,$$

$$\frac{x_m}{l} = \frac{1}{2} \frac{p_A}{F/S} = \frac{p_A}{2(p_1 - p_A)}. \quad (5)$$

Із рівнянь (5) та (4) з урахуванням, що

$$p_1 V_0 = RT_1,$$

одержимо квадратне рівняння відносно величини

$$\frac{p_A}{p_1}$$

$$4 \left(\frac{T_m}{T_1} - 1 \right) \left(1 - \left(\frac{p_A}{p_1} \right) \right) = \left(\frac{p_A}{p_1} \right)^2.$$

Розв'язуючи рівняння з підстановкою числових значень T_1 та T_m , одержуємо $p_1 = 2p_A$. Тоді рівняння (3) процесу, який зображено на графіку ділянкою 2–3–4 матиме вигляд:

$$p = p_A \left(3 - \frac{V}{V_0} \right) \text{ або } \frac{V}{V_0} = 3 - \frac{p}{p_A}. \quad (6)$$

Початковий об'єм можна визначити з рівняння стану газу (точка 1) враховуючи, що

$$p_0 = p_1 \frac{T_0}{T_1} = \frac{15}{8} p_A.$$

Рівняння (6) можна записати у вигляді:

$$\frac{V(3 - V/V_0)}{T} = \text{const}.$$

Для визначення залежності теплоємності газу від об'єму на ділянці 2–3–4 використаємо перше начало термодинаміки для ідеального двоатомного газу в диференціальній формі.

$$\delta Q = \frac{5}{2} R dT + p dV.$$

Ми вважаємо, що теплоту, яку отримує газ завдяки тертю поршня об стінки посудини, можна знехтувати.

Звідси теплоємність газу буде:

$$C = \frac{5}{2} R + p \frac{dV}{dT}.$$

Із рівняння стану

$$p_A V \left(3 - \frac{V}{V_0}\right) = RT$$

отримаємо

$$\frac{dV}{dT} = \frac{R}{(3 - 2V/V_0)p_A}.$$

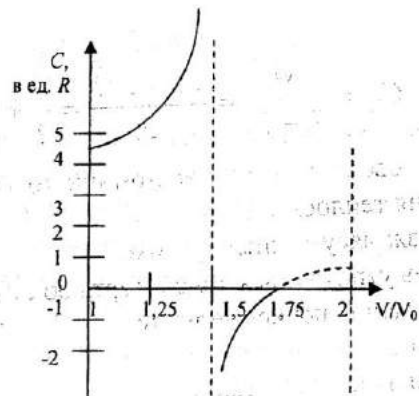
Оскільки $p = p_A(3 - V/V_0)$,

то

$$C = \frac{5}{2} R + \frac{3 - V/V_0}{3 - 2V/V_0} R.$$

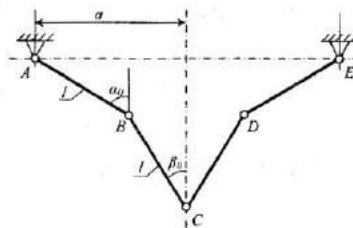
На графіку схематично зображено залежність $C = f(V/V_0)$.

Як бачимо, при $1,5 < V/V_0 < 1,75$ теплоємність від'ємна.



Задача 2.

За даними задачі очевидно, що в момент початку руху системи $\alpha_0 = 60^\circ$, $\beta_0 = 30^\circ$ (мал. 1).



Мал. 1

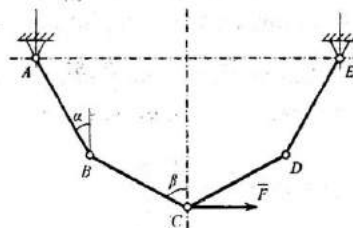
З часом система набуде стану стійкої рівноваги (мал. 2). Сила F , що діє з боку правої частини системи на ліву, в силу симетрії системи направлена так, як зображено на мал. 2.

Запишімо умову рівноваги стрижня BC відносно точки B :

$$Fl \cos \beta - mg \frac{l}{2} \sin \beta = 0.$$

Звідси,

$$F = \frac{mg \sin \beta}{2 \cos \beta}. \quad (1)$$



Мал. 2



Тепер запишімо умову рівноваги тілої частини системи відносно точки A :

$$F(l \cos \alpha + l \cos \beta) - mg \frac{l}{2} \sin \alpha - mg(l \sin \alpha + \frac{l}{2} \sin \beta) = 0$$

Звідси

$$F = \frac{mg}{2} \frac{3 \sin \alpha + \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta} \quad (2)$$

Прирівняймо (1) і (2):

$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{3 \sin \alpha + \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta}$$

Звідси

$$\operatorname{tg} \beta = 3 \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

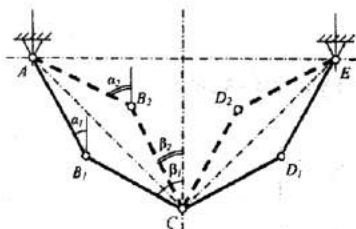
Шарнір C переміщується лише по вертикалі, тому

$$l \sin \alpha + l \sin \beta = a = l \frac{1 + \sqrt{3}}{2},$$

або

$$\sin \alpha + \sin \beta = \frac{1 + \sqrt{3}}{2} \quad (4)$$

Дослідімо систему рівнянь (3) та (4). Рівнянню (4) відповідають ті значення кутів α і β , за яких точка C знаходиться на осі симетрії. Таких пар значень α і β безліч. Рівняння (3) виділяє з цієї безлічі конкретну пару кутів α_1 та β_1 , яка відповідає умові стійкої рівноваги.



Мал. 3

Значення α_1 та β_1 можна визначити, розв'язуючи зазначену систему чисельними методами. Але ця механічна система має ще одну особливість. Положенню точки C за стійкої рівноваги системи відповідає ще одна пара кутів α_2 і β_2 . Це впливає, що коли існує трикутник AB_1C , то за тих же положень шарнірів A і C існує також трикутник AB_2C (мал. 3). Або це впливає також з рівняння (4), за яким α і β можна поміняти місцями.

Всі міркування відповідають заміні $\alpha_1 = \beta_2$ та $\beta_1 = \alpha_2$. Така заміна трансформує умову (3) стійкої рівноваги в умову (5) існування другого розв'язку для заданого положення шарніра C .

Одержимо

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = 3 \operatorname{tg} \beta_2 \quad (5)$$

Оскільки $\alpha_2 = \alpha_0 = 60^\circ$ та при $\beta_2 = \beta_0 = 30^\circ$ умова (5) виконується, то робимо висновок, що початкове положення шарніра C співпадає з його положенням за умови стійкої рівноваги.

Отже, шарнір C після перерізування нитки не зміститься, а за стійкої рівноваги

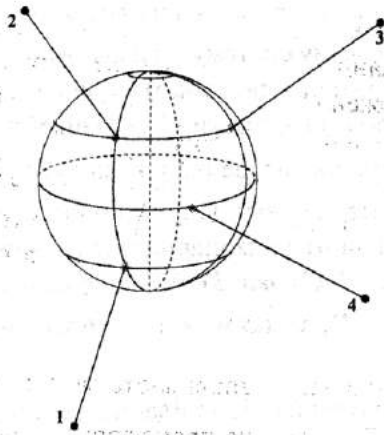
$$\alpha_1 = 30^\circ, \quad \beta_2 = 60^\circ.$$

Кількість тепла Q , що виділиться із закінченням руху системи, дорівнює зменшенню її потенціальної енергії. Враховуючи незмінність положень точок A , C і E , одержимо:

$$\begin{aligned} Q &= 2m \left(\frac{l}{2} \cos \alpha_1 - \frac{l}{2} \cos \alpha_0 \right) + \\ &+ 2m \left(\frac{l}{2} \cos \beta_0 - \frac{l}{2} \cos \beta_1 \right) = \\ &= 2mgl (\cos 30^\circ - \cos 60^\circ) = mgl(\sqrt{3} - 1) \end{aligned}$$

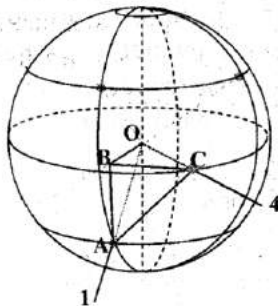
Задача 3.

Схематично зобразімо положення супутників (мал. 1). Зауважимо, що різниця часу відправлення та отримання сигналів від перших двох супутників однакова $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0,0479$ с. Отже, приймач знаходиться в площині екватора.



Мал. 1.

Також однаковою є різниця часу відправлення та отримання сигналів від другого і третього супутників $\Delta t_2 = \Delta t_3 = 0,0479$ с. Отже, приймач знаходиться в площині меридіану 45° . Дві площини перетинаються уздовж лінії з координатами четвертого супутника. Приймач перебуває безпосередньо під четвертим супутником. До того як розглянути надходження сигналів до приймача від першого і четвертого супутників визначимо кут, який утворюють напрямки на ці супутники з центру планети.



Мал. 2.

Оскільки за умовою куту $\angle AOB$ і $\angle BOC$ дорівнюють 45° , $AB = BC = R/\sqrt{2}$, де R – відстань від центра планети до спостерігача (мал. 2).

Отже, $AC = R$ і трикутник OAC є рівностороннім з кутами по 60° .

Розгляньмо тепер площину цього трикутника (мал. 3). Позначмо через $\Delta\tau$ розходження у часі між годинником приймача і точним часом t супутників. Тоді відстань між спостерігачем (точка C) і 4-м супутником

$$r - R = c(\Delta t_4 + \Delta\tau),$$

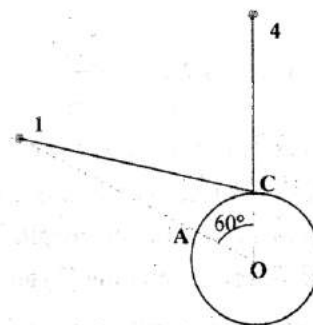
а відстань між спостерігачем і 1-м супутником:

$$\sqrt{r^2 + R^2 - 2rR \cos 60^\circ} = c(\Delta t_1 + \Delta\tau).$$

Маємо систему з двох рівнянь з двома невідомими R і $\Delta\tau$, звідси знаходимо:

$$\begin{cases} R = c(\Delta t_1 - \Delta t_4) \frac{2r + c(\Delta t_1 - \Delta t_4)}{r + 2c(\Delta t_1 - \Delta t_4)} \approx 6383,04 \text{ км} \\ \Delta\tau = \frac{r - R}{c} - \Delta t_4 \approx 0,0111 \text{ с.} \end{cases}$$

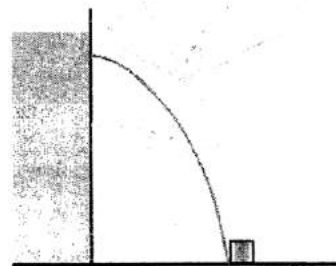
Отже, повітряна куля знаходиться у точці з координатами $0^\circ 00' 00''$ широти (тобто над екватором), $45^\circ 00' 00''$ східної довготи (неподалік від східного узбережжя Африки), на висоті 4 км 890 м над рівнем Індійського океану.



Мал. 3.

Задача 4.

Із малюнка з умови задачі:





Як відомо, за ідеальних умов швидкість витікання води з отвору можна знайти або з рівняння Бернуллі, або з закону збереження енергії (з урахуванням великої площі перерізу діжки $v = \sqrt{2gh}$ – формула Торрічеллі). У реальних умовах швидкість завжди дещо менша і залежить від форми отвору (обговорення цього питання можна знайти, наприклад, у Фейнманівських лекціях із фізики). Тому вважатимемо, що

$$v_1 = \alpha \sqrt{2gh_1} = \alpha \sqrt{2gh} \rightarrow v_2 = \alpha \sqrt{2gh_2},$$

де α – деяке менше за одиницю безрозмірне число, однакове для обох отворів внаслідок їхньої подібності, h_2 – глибина другого отвору.

Знайдімо положення точки перетину струменів у системі координат із початком у точці виходу першого струменя й спрямованою донизу віссю ординат.

У вертикальному напрямку за деякий час t вода опускається на відстань $y = \frac{gt^2}{2}$, у горизонтальному – зміщується на відстань $x = vt$. Отже, для системи координат маємо такі рівняння траєкторії першого і другого струменів:

$$y_1 = \frac{gx_1^2}{2v_1^2},$$

$$y_2 = \Delta h + \frac{gx_2^2}{2v_2^2},$$

де $\Delta h = h_2 - h_1$ – відстань між отворами.

Оскільки в точці перетину координати співпадають $x_1 = x_2 \equiv x_0$, $y_1 = y_2 \equiv y_0$, з урахуванням виразу для швидкостей, знаходимо:

$$\begin{cases} x_0 = 2\alpha \sqrt{h_1 h_2}, \\ y_0 = h_2. \end{cases}$$

Тобто точка перетину струменів нижча від другого отвору на відстань $y_0 - \Delta h = h_1$. Дивний і красивий результат.

З'ясується, що точка перетину струменів буде завжди нижча від нижнього отвору на відстань між верхнім отвором і поверхнею води (незважаючи на те, яка відстань між самими отворами). У нашому випадку це $h = 10$ см. Єдине застереження – це сторонні предмети, які можуть завадити перетину струменів. У нашому випадку – поверхня стола, від якої нижній отвір має бути віддалений щонайменше на ті ж самі 10 см.

Перейдімо до другої частини задачі. За умовою другий отвір зроблено на відстані $h_2 = 4h$ від поверхні води. Тоді

$$\begin{cases} x_0 = 4\alpha h, \\ y_0 = 4h, \\ v_2 = 2\alpha \sqrt{2gh} = 2v_1. \end{cases}$$

Швидкість утвореного у точці $(x_0; y_0)$ нового струменя знайдемо за законом збереження імпульса. Маса води, яка проходить крізь отвір площею перерізу S за одиницю часу, дорівнює

$$q = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\rho S \Delta l}{\Delta t} = \rho S v.$$

Для першого і другого отворів маємо:

$$q_1 = \rho S_1 v_1 = \alpha \rho S_1 \sqrt{2gh},$$

$$q_2 = \rho S_2 v_2 = \alpha \rho S_2 \cdot 2v_1 = q_1.$$

З'ясується, змішуються рівні маси рідини обох струменів. Тоді за законом збереження імпульса зведеться до визначення середньоарифметичних швидкостей. У горизонтальному напрямку швидкості струменів залишаються незмінними, отже після з'єднання

$$g_1 v_1 + g_2 v_2 = (g_1 + g_2) v_x,$$

$$v_x = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{3}{2} v_1.$$

У вертикальному напрямку

$$\begin{aligned} v_y &= \frac{v_{1y} + v_{2y}}{2} = \\ &= \frac{1}{2} (\sqrt{2gy_0} + \sqrt{2g(y_0 - \Delta h)}) = \frac{3}{2} \sqrt{2gh}. \end{aligned}$$

Щоб знайти відстань від діжки, на якій опиниться струмінь, знизившись до рівня отвору склянки, знайдімо спочатку час τ такого зниження. Точка перетину знаходиться на висоті $H - h - y_0 = 5h$ над поверхнею, а висота склянки h .

Отже,

$$4h = v_y \tau + \frac{g\tau^2}{2}$$

або

$$g\tau^2 + 3\sqrt{2gh}\tau - 8h = 0.$$

Додатний корінь квадратного рівняння

$$\tau = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

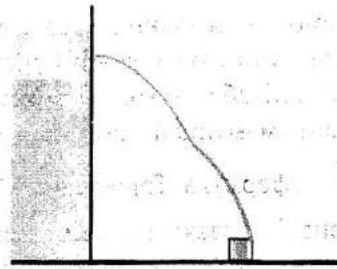
За цей час у горизонтальному напрямі струмінь зміститься на

$$l = v_x \tau = \frac{3}{2} \alpha \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = 3\alpha h$$

й опиниться на відстані $L = x_0 + l = 7\alpha h$ від діжки. Склянка перебуває від діжки на відстані 6 своїх діаметрів d . Цю ж відстань за умовою задачі спочатку долав у горизонтальному напрямку один перший струмінь. Тобто,

$$6d = v_1 t = \alpha \sqrt{2gh} \cdot \sqrt{\frac{2(H-h)}{g}} = 6\alpha h.$$

Отже, $d = \alpha h$ і тоді $L = 7d$. Струмінь попадатиме у верхню крайню точку склянки (що може призвести навіть до перевертання останнього). Під час розрахунків ми знехтували опором повітря, впливом сил поверхневого натягу на рух струменя, завдяки яким той власне й утворює одне ціле. Навіть у цьому випадку завдяки товщині струменя вода буде частково попадати до склянки. Відповідь на останнє запитання в ідеалізованому випадку: струмінь перелітатиме склянку, якщо $S_1/S_2 < 2$.



Задача 5.

Скористаймося методом електростатичних зображень.

1. Під час переміщення точкового заряду можна вважати заряд-зображення нерухомим. Отже, виконана під час переміщення робота буде

$$A = -k \frac{q^2}{3a} + k \frac{q^2}{2a} = k \frac{q^2}{6a}$$

(ми збільшили відстань між зарядами від $2a$ до $3a$).

За умовою ця робота буде $A = 36$ мкДж.

Застосуємо тепер закон збереження енергії, нехтуючи електромагнетним випромінюванням рухомих електричних зарядів:

$$W_1 + A = W_2 + Q.$$

Початкова енергія кулонівської взаємодії заряду з площиною:

$$W_1 = \int_a^\infty -\frac{k \cdot q^2}{4x^2} dx = -\frac{1}{2} \frac{k \cdot q^2}{2a},$$

кінцева енергія взаємодії

$$W_2 = \int_{2a}^\infty -\frac{k \cdot q^2}{4x^2} dx = -\frac{1}{2} \frac{k \cdot q^2}{4a}.$$

Отже,

$$Q = W_1 - W_2 + A = k \frac{q^2}{24a} = \frac{1}{4} A = 9 \text{ мкДж.}$$

2. У цьому випадку легко помітити, що енергія кулонівської взаємодії не змінюється (можна вважати, що просто змінилися на протилежні знаки всіх зарядів).

Отже, за законом збереження енергії

$$Q = A = 36 \text{ мкДж.}$$



ВЕЛИКИЙ АДРОННИЙ КОЛАЙДЕР ГОТУЮТЬ ДО ЗАПУСКУ

Фізики світу з нетерпінням очікують запуск великого адронного колайдера. На початку листопада 2007 року фахівці ЦЕРНу завершили монтаж системи магнетів, а в грудні один із восьми секторів магнетної системи охолодили до робочої температури 1,9 К. Після перевірки всіх секторів магнетної системи, стало можливим проведення тестових експериментів із пришвидшення протонів. Однак уведення в дію такого великого і складного фізичного приладу зазвичай супроводжує низка проблем. І дослідники до цього готові. Якщо вийде з ладу будь-який сектор магнета, то для ремонту доведеться його відігрівати від температури 1,9 К до кімнатної, а це перенесе запуск колайдера надовго. Для завершення монтажу і налагодження чотирьох експериментальних установок – ATLAS, ALICE, CMS і LHCb – також потрібен час. Їх мусять ввести в дію до того, як розпочнуть пришвидшувати фотони.

Допоміжні пришвидшувачі, що створюють пучок протонів з енергією 0,45 TeV для введення в головне кільце, вже випробували. Для тестових експериментів на LHC передбачають використати пучки протонів малої інтенсивності, щоб зменшити ризик пошкодження апаратури. Під час запуску LHC у кожному напрямку циркулюватиме лише один згусток протонів з енергією 7 TeV.

Попри те, що до початку роботи пришвидшувача ще багато часу, деяким студентам і молодим ученим уже вдалося одержати перші експериментальні дані. Космічне проміння, що пронизує франко-швейцарські гори, час до часу проходить крізь детектори, які його реєструють. Це дає змогу за реальних умов упевнитися, що все справне і працює. Уже невдовзі, коли запрацює пришвидшувач, ученим доведеться розв'язувати надзвичайно складні завдання. При розрахунковій "світлості" пучка – 20 подій за 25 нс, частинки, що розлітаються з точки зіткнення пучків, ще пролітатимуть крізь зовнішні шари детектора, коли вже відбуватиметься наступне зіткнення. Окремі елементи в кожному з шарів детектора реагуватимуть на певні частки й інформацію про них передаватимуть до системи опрацювання даних. Дані від кожної події створюватимуть майже мегабайт

інформації, а кожні дві секунди – мільярд мегабайтів. Система опрацювання даних має зменшити цей потік інформації до сприйнятної величини.

Глобальна обчислювальна мережа LHC об'єднує потужності обчислювальних центрів і робить інформацію про експерименти на LHC доступною користувачам, які зможуть входити в цю мережу з кабінетів своїх інститутів.

Комп'ютерна мережа LHC, створена у вигляді рядів. Ряд 0 розміщений безпосередньо в ЦЕРНі і складається з тисяч стандартних комп'ютерних процесорів. Комп'ютери й досі поступають і їх під'єднують до системи. Фахівці, що відповідають за придбання комп'ютерів, шукають найвигідніші пропозиції, уникаючи новітніх і найпотужніших моделей на користь економічніших варіантів.

Не дивлячись на використання нових технологій, під час монтажу LHC вже відбувалися неполадки і зумовлені ними затримки. У березні 2007 року під час випробування одного з магнетів, що використовується для фокусування протонних пучків безпосередньо перед точкою зіткнення сталося непередбачуване. Під час перевірки на механічну міцність магнетної системи при втраті катушкою надпровідності, частина кріплень магнета зруйнувалася, відбувся викид газоподібного гелію. Отже, магнетну систему треба було зміцнити.

Такі магнети встановлюють групами по троє, для стиснення пучка в горизонтальному, тоді у вертикальному і знову в горизонтальному напрямках. Така послідовність забезпечує точне фокусування пучка. У LHC використовують 24 такі групи. Вчені ЦЕРНу розуміли, що доведеться витягувати з тунелю і піднімати на поверхню для вдосконалення всі 24 групи, що, можливо, затримало б запуск. Причиною неполадки виявилася помилка під час конструювання: проєктувальники магнета (дослідники з лабораторії Фермі) не врахували всі види навантажень. Фахівці з ЦЕРНу та лабораторії Фермі спільно запропонували спосіб зміцнення непошкоджених магнетів безпосередньо в тунелі пришвидшувача. Три вже пошкоджених магнети довелося піднімати на поверхню для ремонту. Науковці ЦЕРНу докладають всіх зусиль, щоб у липні 2008 року ввести колайдер у дію.



ПРОГРАМА КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАСА

Програма Національного аерокосмічного агентства США (НАСА) на найближче десятиріччя, яку оприлюднено Агенством, насичена космічними дослідженнями. Це – низка нових наукових місій до планет Сонячної системи, пошук життя під кригою, що покриває супутник Юпітера Європу, вивчення чорних дір і темної матерії.

Розпочато роботи над проектом запуску безпілотного корабля до одного з природних супутників Сатурна або Юпітера, на яких, на думку вчених, можуть бути певні форми життя. Політ заплановано на 2017 рік

НАСА планує 2015 року послати дослідницький зонд до Сонячної корони, з якої викидаються йонізовані частинки. Це явище називають “сонячний вітер”. Того ж року запланували запустити доколосемний супутник, за допомогою якого вивчатимуть “темну енергію”. Учені вважають, що “темна енергія” сприяє пришвидшеному розширенню Всесвіту, але їй досі не розуміють її природи.

Як повідомив заступник директора НАСА з наукових місій Алан Стерн (S. Alan Stern), за Програмою дослідження Землі вже 2008 року стартують дві місії із спостереження за поверхнею Землі: “У наших планах сьогодні спостерігається зростання ролі природоохоронних програм. Передбачаємо використати обладнання вартістю чотири мільярди доларів, за допомогою якого з доколосемної орбіти вивчатимемо нашу планету та кліматичні зміни”.

Один з проектів – орбітальна обсерваторія. Цю станцію буде запущено на орбіту в грудні 2008 року і за допомогою неї вимірюватимуть концентрацію

вуглекислого газу в атмосфері Землі з метою дослідження парникового ефекту: “Місія орбітальної обсерваторії має на меті скласти детальні карти концентрації вуглекислого газу. Карти складатимуть, застосовуючи високоточні спектрографи. Це дасть змогу зафіксувати джерела надходження в атмосферу вуглекислого газу на невеликих ділянках Землі. Ця інформація дасть змогу відстежувати і контролювати ці процеси точніше, ніж раніше”.

Іншим доколосемним проектом 2008 року стане запуск супутника, який відстежуватиме найістотніші зміни океанських течій та акумуляцію тепла океанами Землі. За останні чотири роки Агентство через брак коштів не запусало нових супутників, які вивчали б Землю. Кількість таких супутників за цей час скоротилося з 25 до 21.

У минулорічній доповіді Американська національна академія наук критикувала уряд США за недостатньо активний, з її погляду, збір найважливішої інформації про глобальне потепління на Землі. Автори доповіді дорікали, що за останні сім років бюджет НАСА на дослідження Землі скоротився майже на третину.

Передбачають, що в 2009 фінансовому році державне фінансування Аерокосмічного агентства зросте на один мільярд доларів і досягне 17 мільярдів 600 мільйонів доларів.

Плани вивчення земної атмосфери і планет Сонячної системи – не зовсім те, чого очікують від НАСА багато американців. Вони сподівалися почути про плани польоту на Місяць і Марс, які обіцяв президент США Джордж Буш.



АМЕРИКАНСЬКІ АСПІРАНТИ ПРИДУМАЛИ СОНЯЧНИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ БІДНИХ

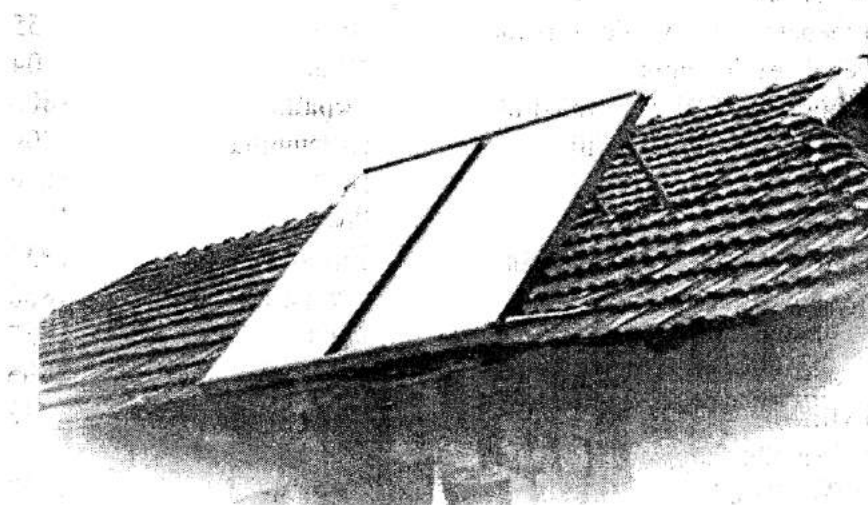
Отримавши 2006 року грант (100 000 доларів США) від Всесвітнього банку, група аспірантів з Массачусетського технологічного інституту (МТІ) розробила систему, яку можна використовувати для виробництва електроенергії, нагрівання та охолодження. Електрогенератор працює завдяки сонячній енергії і його можна виготовити з автозапчастин і листового металу.

Молоді винахідники сподіваються, що система матиме комерційну цінність завдяки своїй дешевизні та простоті. Її зможуть використовувати країни, що розвиваються. Для майбутньої компанії, що впроваджуватиме винахід вибрали назву "Прометеєва потужність" (Promethean Power).

Ідея створення простих сонячних електрогенераторів належить аспірантові МТІ Мет'ю Оросу, який, працюючи в Лесото волонтером у Корпусі миру, задався метою забезпечити райони, позбавлені електроенергії, гарячою водою, системами охолодження та електроенергією. Він із колегами по МТІ розробив систему, в якій за допомогою дзеркал сфокусують сонячне проміння на трубах із теплоносієм. Завдяки сонячній енергії теплоносій перетворюється на пару, яка обертає турбіну, а вона – електрогенератор. Надлишкове тепло планують використати для нагрівання води, а надлишкову електроенергію – для роботи кондиціонерів.

Для побудови генератора винахідники пропонують використовувати автозапчастини, які порівняно доступні навіть у найбідніших країнах. Вартість системи становить майже 5000 доларів США, при масовому виробництві сподіваються понизити її до 3000. Перевагами цієї системи є її простота та екологічність: вона не забруднює атмосферу оксидами вуглецю.

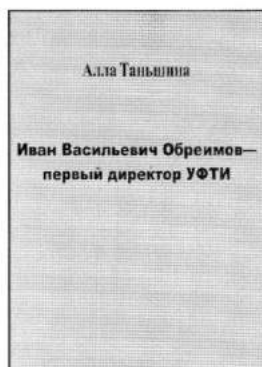
Зараз Орос працює в Лесото над двома прототипами системи. Попри досягнуті успіхи, він зізнається, що до широкого використання генератора ще далеко.





НАЙСТАРІШІ УНІВЕРСИТЕТИ СВІТУ

1. Болонський університет	Італія	XI ст.
2. Оксфордський університет	Великобританія	XII ст.
3. Кембриджський університет	Великобританія	1209
4. Паризький університет або Сорбонна (13 університетів)	Франція	1215
5. Саламанський університет	Іспанія	1218
6. Карловий університет	Чеська республіка	1348
7. Пізанський університет	Італія	1343
8. Ягелонський університет (Краків)	Польща	1364
9. Віденський університет	Австрія	1365
10. Університет імені Карла Рупрехта (Гайдельберг)	Німеччина	1386
11. Упсальський університет	Швеція	1477
12. Копенгагенський університет	Данія	1479
13. Університет "Острозька академія"	Україна	1576
14. Вільнюський університет ім. Капсуката	Литва	1579
15. Києво-Могилянська академія	Україна	1615
16. Тартуський університет	Естонія	1632
17. Університет ім. Етвеша (Будапешт)	Угорщина	1635
18. Гарвардський університет (Кембридж)	США	1636
19. Гельсінський університет	Фінляндія	1640
20. Львівський університет ім. Ів. Франка	Україна	1661
21. Університет імені Георга Августа (Геттінген)	Німеччина	1737
22. Принстонський університет (Нью Джерсі)	США	1746
23. Колумбійський університет (Нью-Йорк)	США	1754
24. Московський університет ім. М. Ломоносова	Росія	1755
25. Казанський університет (Татарія)	Росія	1804
26. Харківський університет ім. В. Каразіна	Україна	1805
27. Університет імені Гумбольда (Берлін)	Німеччина	1809
28. Варшавський університет	Польща	1816
29. Санкт-Петербурзький університет	Росія	1819
30. Київський університет ім. Т. Шевченка	Україна	1834
31. Лондонський університет	Великобританія	1836
32. Калькутський університет	Індія	1857
33. Одеський університет ім. І. І. Мечнікова	Україна	1865
34. Чернівецький університет ім. Ф. Федьковича	Україна	1875
35. Національний університет "Львівська політехніка"	Україна	1877
36. Токійський університет	Японія	1877



Алла Таньшина. Іван Васильович Обреїмов – перший директор УФТІ. (Російською мовою). – Харків, 2008. – 112 с.

У книжці подано життєпис і харківські сторінки науково-організаційної діяльності видатного фізика, першого директора Українського фізико-технічного інституту, академіка Івана Васильовича Обреїмова в контексті становлення та розвитку сучасної фізичної науки. У виданні є також його листування з відомими фізиками світу, та бібліографія його праць.

Для всіх, хто цікавиться історією української фізики.

Шопа Г. М., Гальчинський О. В. Нобелівські лавреати з фізики. – Львів: Євросвіт, 2008. – 696 с.: іл.



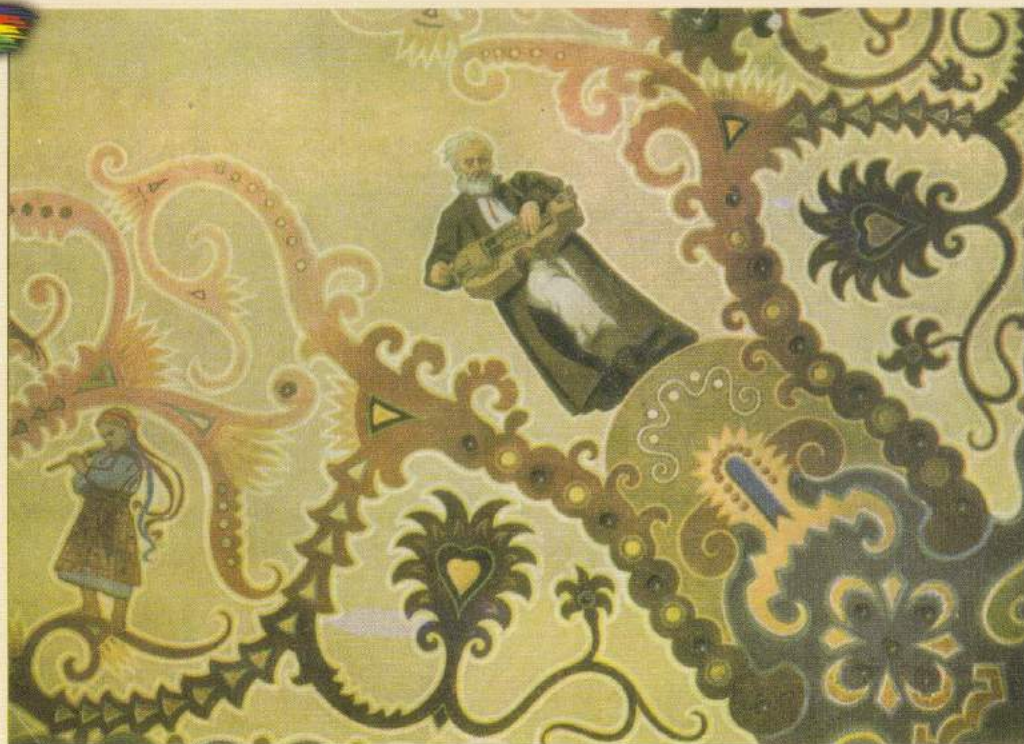
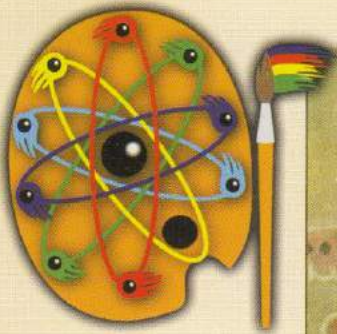
Енциклопедичне видання містить найповнішу інформацію про Нобелівських лавреатів з фізики за понад 100 років українською мовою. Подано біографічні відомості про видатних фізиків, їхні наукові досягнення та наукові відкриття, за які науковці одержали Нобелівські премії. Подано відомості про лавреатів українського походження, видатних учених, які співпрацюють чи співпрацювали із українськими фізиками, є членами Наукового товариства імені Тараса Шевченка, Національної академії наук України, Почесними докторами університетів тощо.

Для широкого кола фахівців фізичних спеціальностей: науковців, викладачів, учителів, студентів, школярів та усіх, хто цікавиться фізикою та Нобелівськими лавреатами.



ШАНОВНІ ЧИТАЧІ!

Не забудьте передплатити науково-популярний журнал "Світ фізики", попередні числа цього видання Ви можете замовити в редакції журналу за адресою:
вул. Саксаганського, 1,
м. Львів, 79005, а/с 6700;
phworld@franko.lviv.ua



М. Сосенко (1875-1920)

Розпис у Державній музичній академії імені Лисенка у Львові. 1915.

М. Сосенко був цікавим майстром, який черпав натхнення зі скарбниці українського народного мистецтва і шукав нових шляхів розвитку монументального живопису. З малих літ він залишився сиротою і в тяжких матеріальних умовах торував собі життєвий і творчий шлях. Закінчивши реальну школу в Станіславі (нині Івано-Франківськ), М. Сосенко навчався у Краківській академії красних мистецтв, а згодом поповнював свої знання у Мюнхенській академії образотворчих мистецтв і Національній школі мистецтва в Парижі.

Художник 1905 року приїхав до Львова і вперше показав свої картини на Виставці українських митців, у якій брали участь київські та львівські художники.

Мистецький доробок М. Сосенка становлять портрети, пейзажі, жанрові картини, орнаментальні композиції й монументальні розписи. У своїх жанрових творах художник показував велике зацікавлення до життя, побуту і звичаїв народу, особливо гуцулів. Кращими серед них є «Трембітарі» (1914), «Гуцульська пара в танку» й «Музиканти». У них художник підкреслив своєрідність і мальовничість гуцульського побуту, легко і сміливо komponує окремі сцени. Ясні, теплі, дещо приглушені рожеві й рожево-жовті тони гармонійно поєднуються з ніжними фіолетовими й фіолетово-синіми. У творі «Хлопці на плоті» (1913) художник з тонким знанням психології дитини змалював цікаві типи селянської дівчини. Малював М. Сосенко вільним мазком, в теплій, немов пастельній, гамі рожевих, сіро-синіх і фіолетових тонів. М. Сосенко був тонким майстром орнаментальної композиції й чудовим вишуканим колористом.