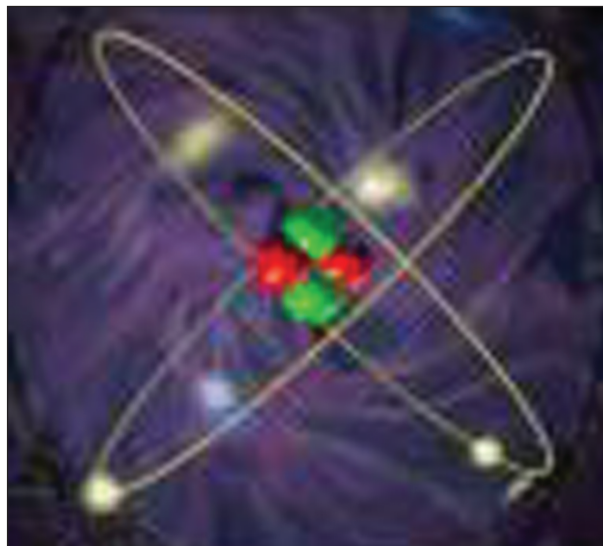


"Фізика — наука,
під прапором якої відбулася
науково-технічна революція
XX-го століття.
Її успіхи й сьогодні визначають
напрями подальшого прогресу людства".

*О.О. Абрикосов,
Нобелівський лауреат 2003 р.*



ФІЗИЧНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ, ЩО ЗМІНИЛИ СВІТ



Вадим Локтев
доктор фіз.-мат. наук,
академік НАН України,
академік-секретар
Відділення фізики і астрономії
НАН України,
м. Київ

Напевно, кожний пересічний громадянин, включаючи школярів і студентів, відчуває, що з науковим сектором у нашій державі щось не так. Внаслідок самоусунення її керівних органів від належної фінансової підтримки фундаментальних наукових досліджень фактично попираються права науковців на повноцінну плідну роботу. Водночас молодь, на жаль, не висловлює палкого бажання долучитися до чудової і всепоглинаючої діяльності — мета якої пізнання. Більше того, коли правлять бал "їх величність" гроші, а основні особистісні цінності, на які спирається світогляд, — культура, мораль, мистецтво, освіта, наука — відступають на другий план, то майже все, що вимагає справжньої аналітичної розумової роботи, стає непотрібним, і вже ніщо не може утримати суспільство від поступового занурювання у темряву.

Такі думки ненавмисно виникають, коли дізнаєшся, що, за новим, нещодавно запропонованим і прийнятим у Росії освітнім стандартом, фізика (а разом з нею всі інші природничі предмети, крім, після досить тривалих дебатов у Державній думі, математики, — і за це, напевно, треба дякувати!) вилучені зі списку обов'язкових шкільних дисциплін. А це, в свою чергу, значить, що багато природничих дисциплін, які представляють в освіті так звані когнітивні науки, стають предметами "за вибором". Як наслідок, — погане володіння нинішніми школярами основними знаннями з цих предметів і їхнє небажання присвячувати своє життя науковим професіям. Принагідно додаю, що у програмах з "нефізичних" напрямів підготовки бакалаврів-інженерів фізика відсутня взагалі, а там, де її зберегли, її трудомісткість помітно нижча, ніж у престижних західних університетах. Вилучення ж із базових навчальних програм гуманітаріїв будь-яких природознавчих предметів взагалі звучує їхній світогляд настільки, що тепер вони стають заручниками винятково біблійних уявлень про походження й існування Всесвіту, бездумно вірячи у можливість всіляких псевдонаукових чудес і тверджень. Для мене особисто не викликає сумніву, що ми дожили до часів, коли природничі науки вимагають якомога скорішого порятунку на державному рівні, оскільки професійній спільноті зробити це самій вже не під силу..

Добре відомо, що "Україна не Росія", але водночас ми знаємо, як часто ми, скоро вже два десятиліття незалежні та суверенні, дивимось на колишню "старшу сестру", обираючи її за приклад і повторюючи її помилки. Одна з них — небезпечне, я б навіть сказав — злочинне нерозуміння лідерами держави ролі саме природничих наук у розвитку країни, а також того, що серед них є наука — фізика, яка, так сталося, посідає особливе місце, оскільки вивчає найос-

новніші, найфундаментальніші закони, що нас оточують. Будучи універсальними, вони з успіхом пояснюють властивості матерії та її рух на діаметрально різних масштабах — зір і елементарних частинок, неживої речовини і живих клітин, політ супутників і роботу комп'ютерів тощо. Причому все, про що ми дізнаємось, незаперечно свідчить: фізичні закони незмінні в часі та просторі, тобто на Землі вони тотожні тим, що визначають еволюцію далеких галактик. І кожний новий відкритий закон чи спостережуване явище надавали і надають додатковий імпульс для розвитку людства.

Тому хотів би висловити віру в наших керманівців і щиро сподіваюсь, що такого стандарту у нас не введуть. А щоб ще і ще раз нагадати шановним читачам чудового часопису "Світогляд", багато з яких із хвилюванням розмірковують про шляхи розвитку нашої держави, що дала фізика, хочу ще і ще раз наголосити: без фізики зокрема і фундаментальної науки взагалі годі й думати, що Україна може сподіватись на справжню повагу з боку інших країн і народів. Лише освічена, з сильним науковим потенціалом держава, яка бере активну участь у створенні засад для подальшого прогресу, тобто вирощує і пестить фахівців, що спроможні здобувати і переробляти нові знання про Природу і Всесвіт, відчуватиме свою потрібність для решти населення Землі, буде необхідною для його власного існування одиницею, а не просто територією.

Багато передових країн настільки глибоко усвідомили роль нових знань на сучасному етапі розвитку, що ООН стала оголошувати той чи інший рік роками наук. Згадаймо — 2005-й був якраз роком Фізики, 2009-й — роком Астрономії, поточний 2011-й — є роком Хімії. Безперечно, це свідчить про підвищення інтересу суспільства до пізнання як процесу, і, хотів би думати, наші можновладці також звернуть увагу і зрозуміють, що без науки нема майбутнього. Якщо таке станеться, ситуація радикально зміниться, і школярі масово прагнутимуть дослідницької діяльності не менше, ніж тепер так званої фінансово-економічної або юридичної. Тоді вже на шкільній лаві молодь цікавитиметься природничо-науковою й освітньою сферами як такими, де можна і треба докласти власних зусиль, знаючи, що попереду не тільки прекрасне, повне емоцій і радощів, а й нормальне за умовами існування життя в рідній країні, та збагачуватиме новими ідеями і посиловатиме рідне господарство, а не чиєсь де-небудь. Водночас, життя науковця складне, бо будь-яка когнітивна наука вимагає 100-відсоткової віддачі, неперервного професійного навчання і сталого характеру, бо без часом неприємних розчарувань, коли щось не вдалося, а ще гірше, коли хтось із конкурентів виявився вправнішим і знайшов відповідь на досліджуване питання раніше, не обійтись. Тому, попри згадані вище суб'єктивні складнощі та різні об'єктивні кризи, держава просто змушена шукати можливості для гідного працевлаштування власних "яйцеголових" і нарешті зрозуміти, що саме вони є елітою нації, а не безповоротно втрачати тисячі талановитих і навчених складній розумовій діяльності молодих перспективних спеціалістів, що йдуть далеко від рідного дому, щоб стати, називаючи речі своїми іменами, висококваліфікованими заробітчанами...

Але як би не було — там чи тут — науковий фронт невпинно, а з плином часу все скоріше просувається вперед і вглиб так швидко, що інколи кількість і розмаїття вже зафіксованих і тим самим відомих явищ та фактів трошки лякає навіть найпросунутіших і найспроможніших фахівців.

Тим не менш, як купчу розрізнених, незв'язаних між собою фактів фізику сприймають тільки непосвячені, або ті,

для кого певний сенс має питання: а чи справді в ній треба знати і пам'ятати все, що накопичено попередниками? Справді, з різних популярних і навчальних книжок ми багато чого знаємо. Ну, наприклад, що планета Земля не плоска, як ми начебто завжди бачимо навкруги, а куляста з радіусом близько 6,5 тис. км. На іншому "кінці" розмірів ніколи не бачені неозброєним оком людини ядра атомів, які, як нам відомо, складаються з протонів і нейтронів, а їхній радіус дорівнює мізерній, з побутової точки зору, величині 10^{-13} см. Сили гравітаційного притягання або кулонівської взаємодії, яка, на відміну, може бути як притягальною, так і відштовхувальною, згасають обернено пропорційно квадрату відстаней між тілами або зарядами. В нашій Галактиці приблизно 10^{11} зір, а температура на поверхні Сонця оцінюється у 6000° . Ці звичайні, здавалося б, відомості — лише незрівнянно мала частина тисяч інших, причому абсолютно різних — простих і складних для усвідомлення. А всі вони разом утворюють дивну і, головне, *впорядковану* для тих, хто це розуміє, взаємнопроникну мозаїку, що зветься *фізичною* картиною світу.

Але навіть найбільш знані вчені неспроможні вмістити в пам'яті всі накопичені дані про Всесвіт — це неможливо утримати в голові. Відповідні дані в усій сукупності неспроможний вмістити й жодний існуючий суперкомп'ютер, бо тільки інформація про розміри, температуру, спектральний клас і координати розташування в просторі лише щодо зір нашої Галактики становить десь 2-3 терабайти, що є величиною, сумірною з ємністю окремих і найбільш містких сьгодніх магнітних дисків. Якщо ж додати інші важливі характеристики зір, то обсяг інформації зростає в десятки, а, може, й сотні разів. І це тільки астрономічні дані, а є ще елементарні частинки, атоми, молекули, речовини і сполуки, матеріали та велика кількість їхніх властивостей. Далі — хімія, біологія, нарешті жива матерія...

Стає зрозумілим: не тільки запам'ятати, а й записати куди-небудь таку кількість букв і цифр неможливо. Але, на щастя, робити таке й не потрібно! В цьому й полягає інколи незбагненна гармонія довколишньої природи, коли нескінченна різноманітність спостережуваних і принципово дозволених для реалізації природних і штучних ефектів базується на скінченній і досить невеликій кількості основоположних принципів, що зветься *фізичними законами*. Розкривши зміст останніх, вдається не тільки зрозуміти й описати безліч явищ, а передбачити нові, раніше невідомі. Візьмемо хоча б систему рівнянь Джеймса Максвелла, започатковану півтора століття тому. Рівнянь небагато, але вони дали змогу об'єднати абсолютно розрізнену, на перший погляд, сукупність електричних і магнітних явищ, а також поставити всі їх на службу людям.

В принципі, за роки існування фізики її основна мета (можна сказати, "надзадача") не змінилася — побудувати єдину теорію, яка б в ідеалі містила декілька фундаментальних рівнянь, що описують усі відомі основоположні факти, і правильно передбачала б нові. В разі успіху можна було б стверджувати, що фізика неживої матерії створена, але коли це відбудеться і чи відбудеться коли-небудь взагалі, ніхто прогнозувати не в змозі, принаймні тепер. А отже, розгадувати *фізичні* закони живої природи треба по суті паралельно з побудовою, як кажуть, *теорії всього* (*theory of everything*).

Допитливу людину цікавить й інше: а звідки ми це знаємо і чому так впевнені, що все відбувається саме так, як приписує фізика? Наприклад, що в ядрі гелію два протони і два нейтрони, що Земля близька до кулі, що сила тяжіння пропорційна масам, що рівняння Максвелла описують електромагнітні хвилі і багато чого ще. Кожний відповідь — з експериментів, які людство давно почало виконувати,

відмовившись від невігядливого споглядання природних явищ і замінивши його спеціально поставленими, свідомими лабораторними дослідями. Вже на рубежі XVI-XVII століть, тобто всього 300-350 років тому, люди, які намагалися зрозуміти спостережувані явища, прийшли до висновку, що пізнання природи можна і треба робити за приблизною схемою:

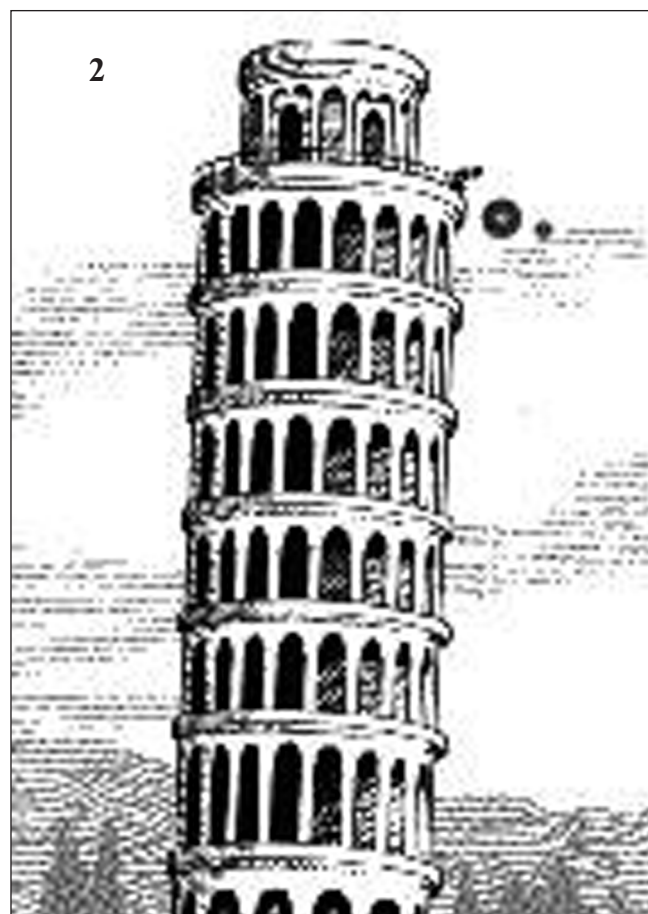
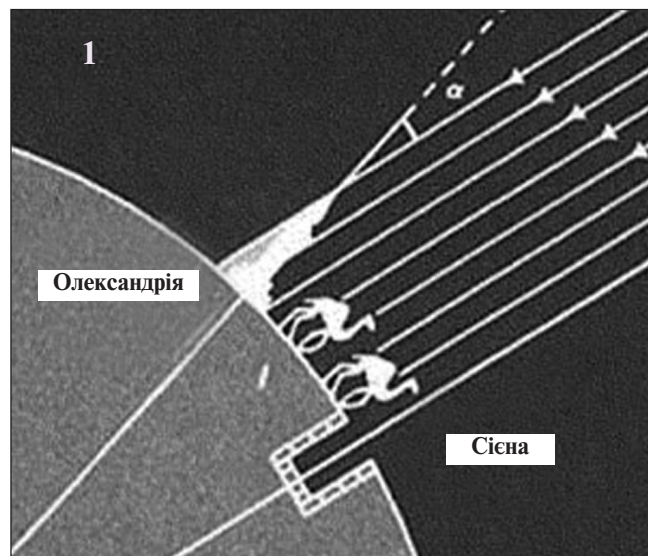
спостережуване явище → можливе пояснення → висновки і передбачення → лабораторний експеримент → повна теорія.

Справді, після спостереження того чи іншого процесу виникає бажання його пояснити, або висловити припущення/гіпотезу щодо причини появи; потім ідуть висновки й аналіз можливих наслідків, перевірка яких вимагає нових експериментів; якщо передбачення справдилося, наступним є побудова більш-менш повної теорії із застосуванням найсучаснішої на відповідний момент математики і можливі узагальнення, максимально вільні від конкретики здійсненого. Що ж стосується неминучих у пізнавальному процесі передбачень, то це можуть бути і розмірні числа для перевірки вимірюваних величин, і невідомі раніше залежності останніх від тих чи інших зовнішніх параметрів або, нарешті, несподівані (інколи кажуть, "непередбачувані") зв'язки між ними. Проте не так рідко буває, коли зроблені передбачення не справджуються, і необхідно повернутися на другий етап, відшукати і запропонувати інше пояснення і ще раз пройти тим самим шляхом, повторюючи таку "процедуру", поки все стане зрозумілим, а висновки — прогнозованими.

Здавалося б, усе так просто, і ланцюжок послідовних дій зрозумілий і виконуваний. Але це так лише на перший погляд, і немало прикладів, коли час від його (ланцюжка) початку до кінця забирив століття. Найвідоміший — загальна будова Всесвіту, схему якого деякі мислителі почали пропонувати задовго до нової ери літочислення, відколи стала панівною Птолемеєва, або геоцентрична система світобудови. За нею центром світу визначали нашу рідну планету Землю, яку вважали нерухомою, а навколо неї "літали" Сонце, інші планети й Місяць. Як це не дивно, але таке уявлення, можна сказати, безтурботно проіснувало понад півтора тисячоліття, проте під натиском незаперечних спостережень, які поступово вдосконалювалися й уточнювалися, все ж почало стикатися з серйозними складнощами, коли передбачення про розташування небесних тіл на сферично-подібному небосхилі суттєво суперечили спостереженням. Саме це примусило польського астронома *Ніколая Коперніка* у середині XVI-го століття відмовитися від геоцентричної моделі і висунути принципово іншу — *геліоцентричну*, про яку (правда кажучи, уможливно) говорили і раніше (наприклад, в III-му ст. до н.е. грецький мислитель *Аристарх Самоський*), і за якою центром обирали Сонце, а Землю визначали лише як одну з планет, що відрізняються розмірами, умовами існування й орбітами. Ця система, спочатку жорстко заборонена церквою, не тільки вижила, а й стала єдиною правильною завдяки зібраним у детальні таблиці даним блискучих вимірювань данського астронома й астролога *Тихо Браге*, які повністю їй відповідали. І тепер геліоцентрична система є загальноприйнятою, її вивчають у школах, демонструють публіці в планетаріях. В її становленні вирішальну роль зіграв експеримент, який проголошено найнеобхіднішим складником і основним критерієм істини, коли йдеться про пізнання. При цьому він стає визначальним, коли призводить не тільки до якісного знання, а й встановлює кількісні співвідношення, тому порівняння обчислень із вимірюваннями — цілком однозначна і при цьому, до деякої міри, рутинна і водночас ключова процедура будь-якого чергового заглиблення в природу речей.

За роки розвитку науки було проведено багато тисяч, якщо не сотні тисяч експериментів. Про всіх них розповісти неможливо навіть при великому бажанні. Але серед них завжди є так звані *experimentum criticis* — вирішальні (лат.), постановка яких і проведення дали відповіді на глибинні пізнавальні питання свого часу. Визначити їх не тільки не просто, а непосильне завдання для будь-кого, включаючи фахівців.

Але відповідний відбір може бути здійснений колективно, що для фізичних експериментів фактично було зроблено впродовж 2006 року однією з найвпливовіших світових газет "New York Times", яка провела опитування кількох тисяч фізиків у різних країнах.



Кожний з них мав назвати 10 найкрасивіших і найважливіших для подальшого прогресу людства експериментів фізичного спрямування. Тому вважаю за потрібне для розширення ерудиції кожного читача розповісти про ті десять експериментів, які, перефразуючи американського літописця жовтневого перевороту 1917 р. *Джона Ріда*, перевернули світ, завдяки чому і потрапили до чільної десятки.

1. Експеримент Ератосфена Кіренського

Цей експеримент найдавніший із відомих, проведений у III-му столітті до н.е. бібліотекарем знаменитої Олександрійської бібліотеки, а присвячений був вимірюванню радіусу Землі. По суті тоді не було вимірювальних засобів, але схема експерименту до геніальності проста. Опівдні, в день літнього сонцестояння, у місті Сієні (нині Асуан у Єгипті) Сонце містилось у зеніті, а отже предмети не відкидали тінь. Точно в той самий час у місті Олександрії, віддаленому на 800 км від Сієни, Сонце вже було відхилене від вертикалі приблизно на 7° , що становить близько 0,02 від повного кола (або 360°). Звідси можна легко обрахувати, що окружність Землі дорівнює 40000 км, а її радіус, відповідно, — 6300 км. Неймовірно, але знайдений таким надзвичайно простим способом радіус всього на 5% менше за відомий сьогодні і вимірний найсучаснішими приладами з використанням аерофотозйомки та космічного лазерного зондування.

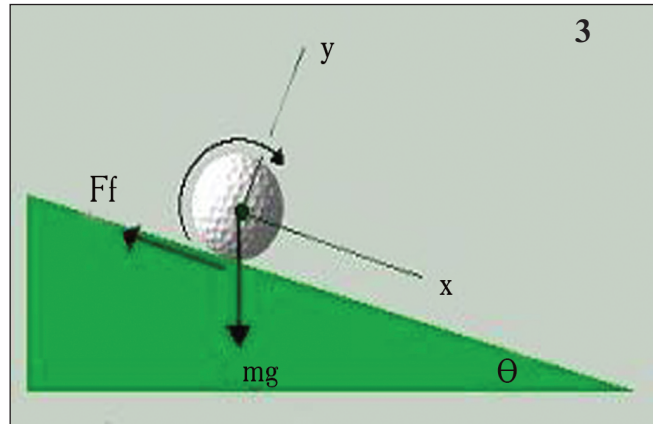
2. Експеримент Галілео Галілея

Зісторії відомо, що до середини XVII-го століття правильною вважали позицію *Аристотеля*, що швидкість падіння будь-якого тіла залежить від його маси, причому важчі тіла падають швидше. Ми можемо самі проекспериментувати і пересвідчитися, що дослід начебто відповідає цьому. Спираючись на подібні спостереження, *Аристотель* і прийшов до висновку, за яким Земля сильніше притягає важчі тіла (що, загалом, відповідає дійсності), тобто й падати вони мають швидше. Насправді ж, не так, і на падіння, як ми тепер знаємо, впливає не тільки сила тяжіння, але й опір повітря, причому співвідношення обох факторів для різних тіл, звичайно, різне, що, врешті-решт, і зумовлює неправильні висновки з простих, експериментально неперевіраних спостережень.

Галілей вирішив акуратно простежити за міркуваннями *Аристотеля*, для чого з Пізанської вежі кидав гарматне ядро і легшу мушкетну кулю. А оскільки обидва предмети мали схожу опуклу форму, то опір повітря був для них практично однаковим. Тим самим досліднику вдалося встановити, що, на відміну від твердження *Аристотеля*, обидва тіла досягають Землі одночасно. Інакше кажучи, було експериментально або однозначно встановлено: швидкість падіння тіл від їхньої маси не залежить, що стало одним із найфундаментальніших факторів для майбутнього розвитку механіки і теорії тяжіння.

3. Ще один експеримент Галілео Галілея

До десятки, як третій за рейтингом, потрапив і дослід *Галілея* з вимірювання інертних сил. Дослідник ретельно вимірював відстані, які кулі, що котяться по похилій площині, долали за рівні проміжки часу. Він з'ясував, що якщо час збільшується вдвічі, то кулі проходять вчетверо більшу відстань. Це, в свою чергу, свідчило, що під дією сили тяжіння кулі рухаються *прискорено*. А це також прямо суперечило відомому і такому, що приймалось на віру майже два(!) тисячоліття твердженню того ж *Аристотеля*, про те, що тіла, на які діє сила, рухаються з постійною швидкістю, а якщо діючої сили нема, то вони

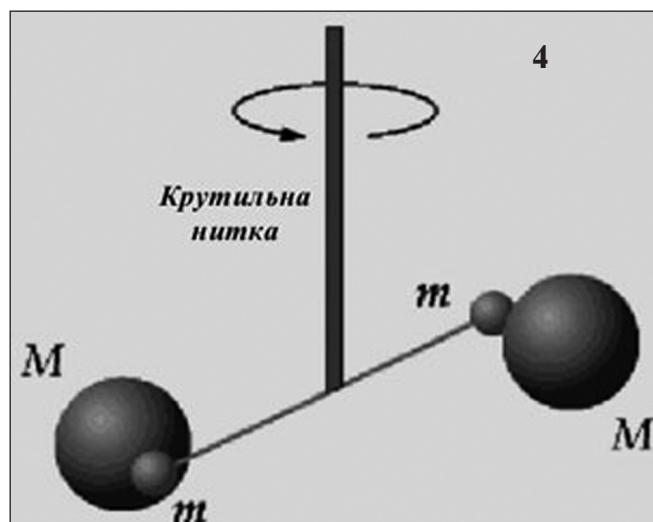


нерухомі. Ці результати *Галілея* пізніше використав *Ісаак Ньютон* при побудові класичної механіки.

4. Експеримент Генрі Кавендіша

Як відомо, закон всесвітнього тяжіння стверджує, що потенціал притягання між двома тілами прямо пропорційний їхнім масам і обернено пропорційний відстані між ними. Але в цьому законі невідомою залишалася величина гравітаційної константи, яка є розмірною. Щоб її визначити, треба було виміряти силу притягання між двома тілами з визначеними масами і відомою відстанню між ними. Таке вимірювання — надзвичайно складна проблема, бо відповідна сила дуже мала. Скажімо, ми перебуваємо в полі тяжіння Землі, відчуваємо його, але, наприклад, як нас притягує наповнений, скажімо, металобрухтом самоскид або ще важчий залізобетонний будинок, абсолютно не знаємо, бо жодного помітного впливу на нас від такого ефекту немає.

Тонкий, прецизійний метод вимірювання сили притягання і запропонував співвітчизник *Ньютона* лорд *Кавендіш* у 1798 р. Він взяв крутильні ваги, або коромисло з двома кульками, що висить на тонкій легкій нитці. Далі вимірювався зсув цих кульок при наближенні до них важчих предметів, головним чином, важких куль. Ваги трохи реагували на таке збурення, але внаслідок малості прямо виміряти цей зсув було також важко. Тому Кавендіш зробив спеціальні дзеркала, приєднав їх до кульок і спостерігав за світловими зайчиками від них на спеціальному плоскому екрані, що істотно підняло чутливість таким чином зробленого пристрою. Цим самим вдалося достатньо точно встановити шукану величину константи і вперше віднайти досить точне значення маси Землі.



5. Маятник Фуко

Французький фізик-експериментатор *Жан Бернар Леон Фуко* у 1851 р. зумів запропонувати експеримент, який наочно і дуже переконливо продемонстрував добове обертання Землі навколо своєї осі. Для цього, виходячи з положення, що площина фізичного маятника під час його коливного руху залишається у системі відліку, пов'язаною з зорями, постійною, він за допомогою 67-метрового маятника, підвішеного під куполом паризького Пантеону, зумів довести спостерігачу, який стоїть на Землі й обертається разом із нею, як площина коливань поступово відходить від вихідного свого



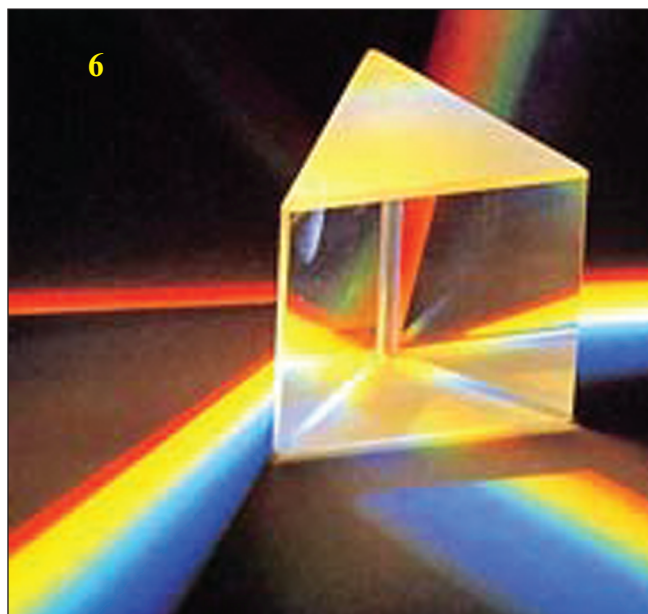
положення в бік, протилежний напрямку обертання Земної кулі. З цього часу такі маятники, що повсюдно стали зватися *маятниками Фуко*, були побудовані у багатьох країнах, а церква вимушена була відмовитись від заборони щодо правильності геліоцентричної будови Сонячної системи.

24 лютого 2011 року діючий маятник Фуко відкрито в приміщенні науково-технічної бібліотеки НТУУ "Київський політехнічний інститут" (маятник розроблено в лабораторії "Дидактик", підвіс маятника виконано рівненським підприємством "Учприлад", а шкалу маятника — підприємством "Алюр").

6. Експеримент Ісаака Ньютона

У 1672 р. *Ньютон* здійснив просте спостереження, яке описане майже в усіх шкільних підручниках. Зачинивши віконниці, тобто затемнивши приміщення, він зробив у них отвір так, щоб було видно сонячний промінь, який мав би окреслену чітку форму, і поставив на його шляху скляну призму, за якою розмістив білий екран. В результаті на екрані виникла "радуга", що свідчила про перетворення так званого *білого* або сонячного світла на декілька кольорових — від червоного до фіолетового. Такий розклад білого пучка світла на декілька інших отримав назву *дисперсії*.

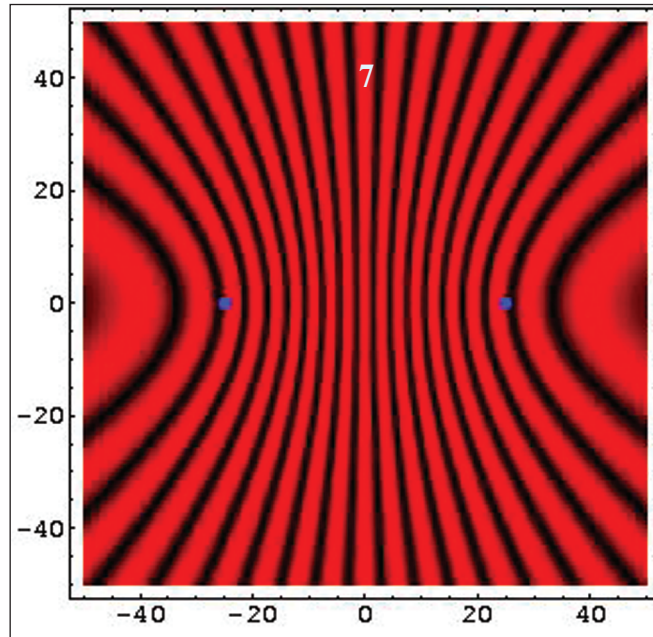
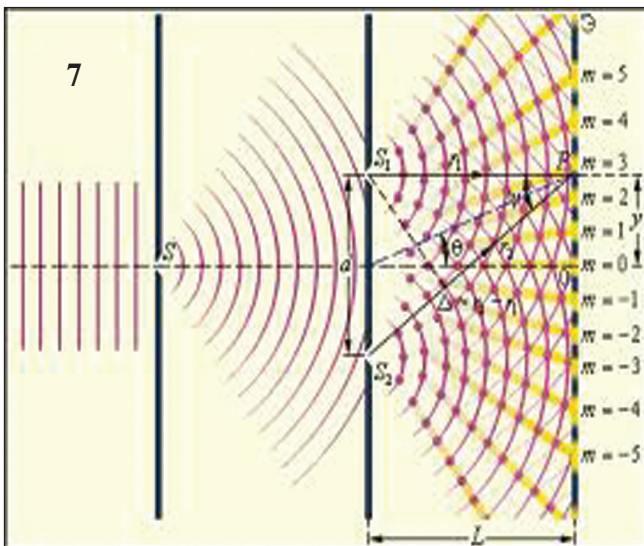
Насправді, сер *Ньютон* був не першим, хто побачив це явище. Вже на початку н.е. було відомо, що великі природні кристали, якщо вони якісні, можуть перетворювати світло на кольорові складові, створюючи щось схоже на раду, також до *Ньютона* деякі дослідники проводили вимірювання дисперсії світла, але це були нерегулярні спостереження без глибоких висновків. Більше того, до *Ньютона* вважали правильним вислів *Аристотеля* про домішування до білого світла темряви, коли її більший внесок дає фіолетову гаму, а менший — червоний. *Ньютон* же серією дослідів зі схрещеними призмами довів, що жодна темрява до світла не додається і жодного кольорового світла не виникає з перемішування білого з темним, і що кількість світла не перетворюється в його якість — *колір*. Врешті-решт, основним висновком Ньютона став такий: біле світло є складеним, а складники — всі кольори від червоного до фіолетового. Ми ж можемо лише констатувати, як різні люди, спостерігаючи одне і те саме явище, по-різному його інтерпретують. І тільки ті, хто ставить правильні запитання і проводить додаткові, перевіряльні експерименти, можуть прийти до правильних висновків.



7. Експеримент Томаса Юнга

Упродовж багатьох століть, аж до XVII-го, існували уявлення, що світло є нічим іншим, як потоком окремих частинок — так званих *корпускул*. І хоча явища дифракції та інтерференції спостерігав ще *Ньютон* (відомі "*кільця Ньютон*"), загальноприйнятим був погляд про корпускулярну природу світла.

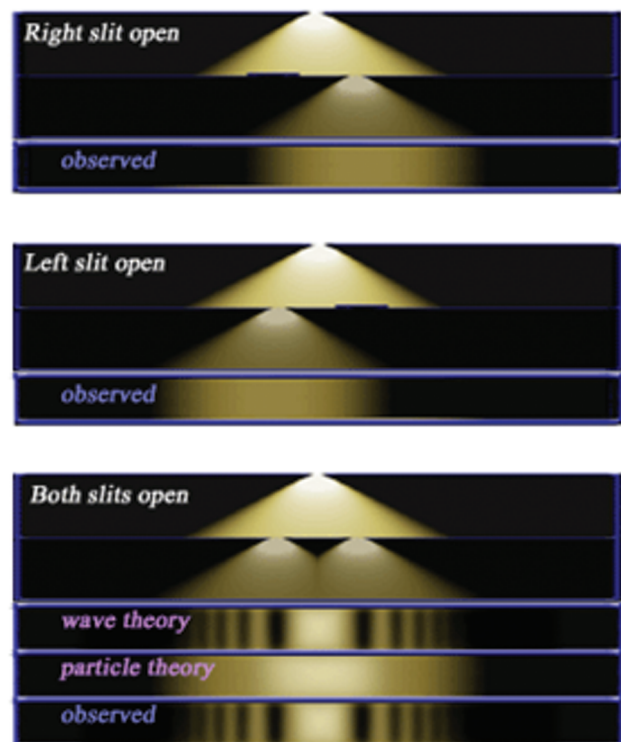
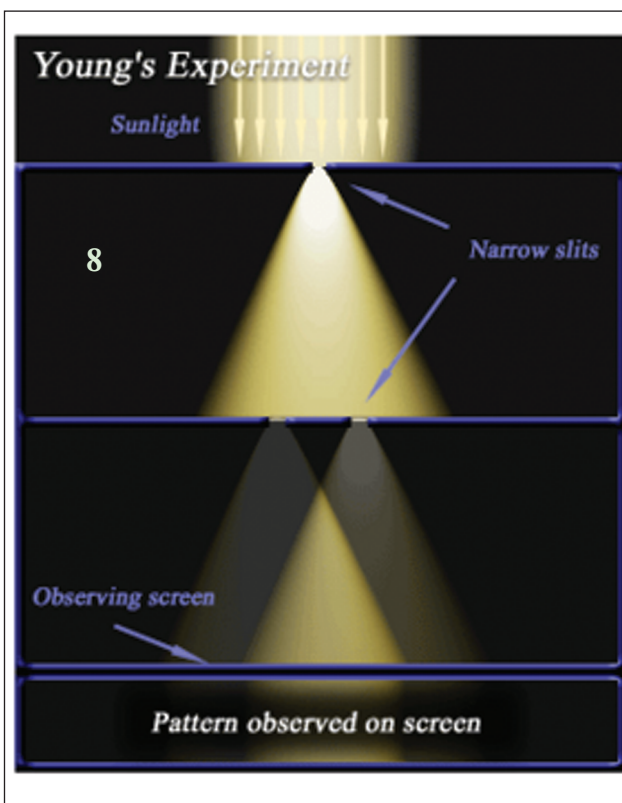
Водночас, для хвиль було добре відомим явище інтерференції, яке полягає в періодичному підсиленні або послабленні амплітуди коливань двох хвиль, що одночасно існують у просторі. Коли хвилі води розходяться від двох кинутих у неї камінців, то там, де ці хвилі зустрічаються, з'являються місця як з амплітудою, меншою за вихідні, так і більшою за них. Але це стосувалося хвиль. Англійський фізик і лікар *Юнг* у 1801 р. вирішив перевірити, чи притаманне явище інтерференції світлу. Для цього він розпочав експериментувати з його променем, який направляв на непрозору площину з двома щілинами. Останні як два джерела моделювали ту саму пару каменів, що падали у воду.



В результаті, на розташованому за площиною екрані дослідник доволі несподівано вперше спостерігав світлову інтерференційну картину, що складалася з переміжних світлих і темних смуг і не могла, за поглядами того часу, бути створеною потоком корпускул. Темні смуги відповідали зонам взаємного гасіння хвиль від різних джерел щілин, а світлі — зонам їх (хвиль) додавання. Таким чином, *Юнгу* вдалося незаперечно довести *хвильову* природу світла.

8. Експеримент Клауса Йонсона

Цей дослід був поставлений німецьким фізиком-експериментатором відносно нещодавно, 1961 року, коли було відтворено вимірювання *Томаса Юнга*, але для справжніх частинок — монохроматичних пучків електронів. *Клаус Йонсон* також спостерігав картину,



аналогічну тій, що бачив *Юнг* для світла, що яскраво свідчило на користь істинності положень квантової механіки, яка стверджує *корпускулярно-хвильовий дуалізм*, або змішану — частинкоподібну і хвилеподібну — природу елементарних частинок (це стосується і фотонів). У 1974 р. цей експеримент був точніше відтворений *Янгом*.

9. Експеримент Роберта Міллікена

Цей експеримент здійснений у 1913 р., і стосувався величини електричного заряду — дискретна вона або неперервна. Треба зазначити, що уявлення про його дискретність, або, точніше, існування найменшого значення заряду, яке не вже підлягає подрібненню, було висловлене ще на початку XIX-го століття і його поділяли такі видатні фізики того часу як *Майкл Фарадей* та *Герман Гельмгольц*. Скажу більше, у фізичний ужиток було введено нове слово "електрон", що позначало деяку частинку — носія елементарного електричного заряду. Проте це означення значною мірою залишалося формальним, оскільки ні сама частинка, ні приписаний їй елементарний електричний заряд не були відомі як експериментально зафіксовані.

На рубежі XIX-XX-го століть, а конкретно — у 1895 р. німецький фізик *Вільгельм Конрад Рентген* відкрив, що аноди розрядних трубок під дією падаючих на них променів від катодів спроможні генерувати деяке інше випромінювання, яке він назвав X-променями, а ми називаємо *рентгєнівським* випромінюванням. В тому ж році француз *Жан Батист Перрен* зумів експериментально довести, що катодне випромінювання є нічим іншим як потік фактично невідомих негативно заряджених частинок. Проте, незважаючи на наявність величезної кількості експериментальних свідчень щодо таких частинок і їхніх проявів, електрон був гіпотетичним об'єктом, бо ніхто не продемонстрував явища, де б були задіяні окремі електрони.

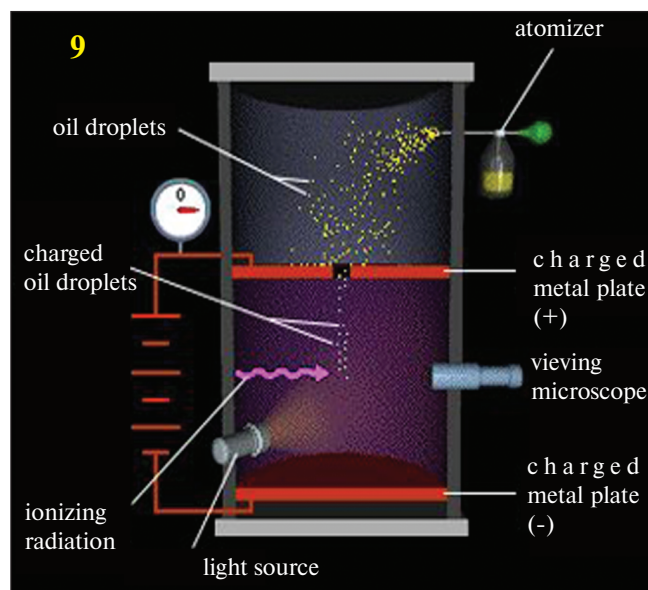
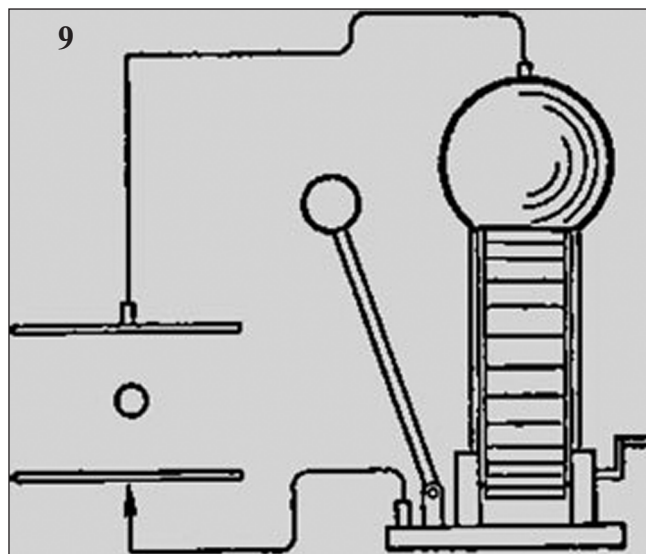
Це зробив американський фізик-експериментатор *Роберт Міллікен*, що здійснив вимірювання так елегантно, що його дослід став класичним і тепер використовується як навчальний у лабораторних роботах студентів-фізиків. В чому ж суть цього експерименту? *Міллікен* розробив метод крапель, за яким навчився ізолювати в проміжку між пластинами конденсатора відносно малу кількість заряджених крапель рідини — як правило, води. Далі, шляхом дії на повітря між пластинами рентгєнівськими променями, можна було його (повітря) іонізувати, що, в свою чергу, змінювало заряд крапель. Коли конденсатор був зарядженим, то за допомогою електричного поля можна було викликати і спостерігати рух завислих крапель вгору, коли ж конденсатор виключався, вони рухалися вниз під дією поля гравітації. Почергово включаючи і виключаючи конденсатор, вдавалося приблизно близько хвилини вивчати рух кожної зі створених крапель окремо, після чого вони випаровувалися.

Почавши експериментувати з краплями у 1906 р., *Міллікен* продовжував робити це з граничною уважністю впродовж кількох років. У 1909-10 рр. він з великою точністю впевнився, що заряди крапель змінюються винятково дискретно, причому зміни завжди кратні деякій фундаментальній величині e , яку й зіставили з зарядом електрона. Отримані результати вперше доводили дискретний характер заряду, а електрони утверджувалися як реально існуючі частинки.

Перше вимірне значення стверджувало, що за модулем $e \approx 4,89 \cdot 10^{-10}$ електростатичних одиниць (CGSE). Потім *Міллікен* замінив воду олією, що значно збільшило час випаровування, а отже, і час спостережень, який досяг кількох годин. Таке удосконалення дало змогу уточнити заряд до цифри, якій повірив сам дослідник, тому лише у 1913 р.

він наважився оприлюднити свої дані, опублікувавши значення $e \approx 4,774 \cdot 10^{-10}$ CGSE.

Без усякого перебільшення дослідження *Міллікена* стали етапними в розвитку фізики XX-го століття, й у 1923 р. він був цілком заслужено відзначений за них Нобелівською премією. Тепер точним значенням елементарного заряду чи заряду електрона вважається величина $e = 4,8032 \cdot 10^{-10}$ CGSE.



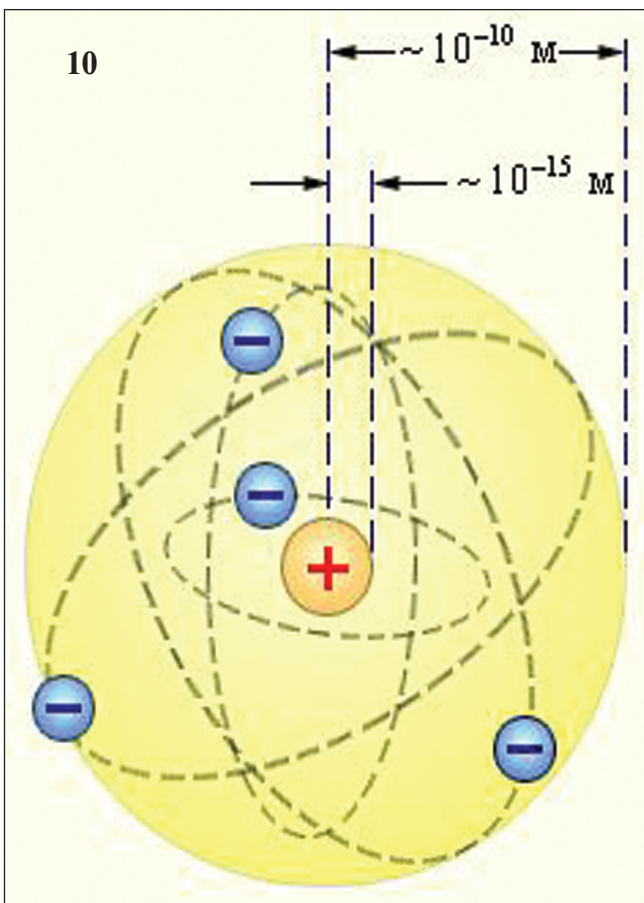
10. Експеримент Ернста Резерфорда

Початок XX-го століття відзначився бурним розвитком різних напрямів фізики, в активі якої було вже не тільки розуміння атомної будови матерії, а й певні знання про будову самих атомів. Їх вважали неподільними і такими, що складаються з двох видів частинок — негативно заряджених електронів і позитивного заряду невідомої природи, тому загалом атоми були нейтральними утвореннями. Такі уявлення про позитивно-негативну і по суті змішану природу розподілу заряду в атомній системі були на той час досить розповсюдженими, але не було жодних експериментальних свідчень ні про його просторову густину, ні про фактичні розміри атомів. І взагалі переважна більшість фізиків поділяла погляд видатного англійського фізика-експериментатора *Джозефа*

Джона Томпсона (всесвітньо відомого тим, що він першим (1897 р.) виміряв масу електрона і був удостоєний за це Нобелівської премії 1906 р.), який у 1903 р. запропонував модель атомної будови. Згідно з нею атом — це позитивно заряджена сфера, що має діаметр приблизно 10^{-8} см, з плаваючими всередині електронами.

Так тривало до 1909 р., коли теж англієць і, мабуть, перший фізик-ядерник *Резерфорд* вирішив поставити експеримент, в якому забажав перевірити, яка ж насправді структура атому. Для цього він використовував відкриті ним відносно важкі й позитивно заряджені α -частинки (їх заряд $e_\alpha = 4e$), які прискорювались до швидкостей 20 км/с, і направлялись на тонку золоту фольгу, розсіюючись в ній на атомах золота, що зумовлювало їхнє (частинок) відхилення від первісного напрямку руху. Воно вимірювалося за спалахами на пластині скінцилятора, які зумовлювалися падінням на неї розсіяних α -частинок. У цих вимірюваннях, що тривали понад 2-х роки, *Резерфорд* разом зі своїми учнями спостеріг безліч (до мільйона) спалахів і переконливо довів, що десь одна з у середньому майже 10000 α -частинок відхиляється на кут, більший за 90° . Останнє свідчило, що в таких актах розсіяння частинка фактично повертає назад, що не могло би відбуватися, якщо б атом відповідав достатньо пухкій, нейтральній структурі *Томпсона*.

Проаналізувавши свої результати і провівши деякі розрахунки, *Резерфорд* зупинився на моделі, яка найкраще описувала отримані ним дані. Тим самим він висунув *планетарну модель атома*, що певним чином нагадувала геліоцентричну. За запропонованою *Резерфордом* планетарною моделлю, атом — це крихітне дуже масивне ядро (аналог Сонця) з розмірами, що не перевищують 10^{-13} см, з відносно легкими електронами-"планетами", які обертаються навколо нього на орбітах з радіусами 10^{-8} см.



Такими сучасні фахівці побачили найвизначніші експерименти минулого, які зумовили наш поступ на тернистому шляху до правильного пізнання і правильних поглядів на світобудову та природу речей. Впадає в око, що всі ці досліди були лабораторними в прямому сенсі і не коштували дорого, що принципово відрізняє стару, добру фізику від сучасної, коли експерименти (за дуже малим винятком — згадаймо хоча б нещодавнє отримання графену (див. "Світогляд" № 1, 2011) або відкриття високотемпературної надпровідності (див. "Світогляд" № 2, 2011), якій, між іншим, цього року виповнюється 25(!) коштують надзвичайно дорого і часом невідомі для однієї, навіть досить багатой країни. Чого тільки варті космічні наукові апарати, підземні нейтринні лабораторії, багатометрові телескопи, гігантський український радіотелескоп ГУРТ, Великий адронний колайдер в Женеві або термоядерний — лише демонстраційний! — реактор, місце для спорудження якого все ще обирають. Але без відповідних витрат неможливо просуватися вглиб Природи, і фізика невинно продовжує бурхливо розвиватися. Вчені пробують краще зрозуміти, що відбувається на настільки малих відстанях, коли атомне ядро не за аналогією, а справді стає Сонячною системою для відповідних досліджень, і на настільки великих, де зорі — аналогічні до Сонця, і саме воно всього лише піщинка в нашому неосяжному Всесвіті. Ще так багато попереду, що неможливо навіть коротко перерахувати майбутні проблеми, які "стоять" у черзі для розв'язання. Це і нові матеріали з наперед замовленими властивостями, і кімнатно-температурна надпровідність, і надзвичайно ефективна робота біооб'єктів, і єдина теорія всіх взаємодій, включаючи гравітацію, і так далі, і таке інше. Не за горами час, коли запрацює суперкомп'ютер (не виключено — квантовий) за потужністю схожий на людський мозок. А це багато в чому теж завдання фізики.

І останнє, що хотілося б сказати, думаючи про читачів "Світогляду", серед яких, упевнений, значна частина тих, хто лише обирає свій майбутній фах у науці. Треба твердо знати: фізика — не тільки молода наука, а ще й наука молодих, тому починати займатися нею, цікавиться доволі широким світом краще якомога раніше. Тоді можна буде раніше дещо зрозуміти і дізнатися, як і що думають фізики, почавши розмірковувати над невирішеними проблемами тоді, коли більшість про них навіть не чула. Такий своєрідний "гандикап" інколи стає важливим чинником власного успіху. Крім того, молодість — час, коли все сприймається відносно легко і не треба великих зусиль, щоб навчитися застосовувати фізичні знання хоча б у простих ситуаціях.

"Правила гри" у фізиці, взагалі кажучи, складні, а оволодіти ними можна і треба лише завдяки наполегливій, сумлінній праці, яку також ліпше розпочинати в молодому віці, коли сил багато, а пам'ять свіжа і не "засмічена" помилковими й інколи зайвими знаннями. Але тим, хто обере цей шлях науково-пізнавального сходження до істин, забезпечене рідкісне за радощами творче життя з несподіваними інтелектуальними проривами на чудовому емоційному підґрунті. Тим же, хто піде по іншій дорозі або докладе свої сили в іншій сфері, в тому числі науковій, знання фізичних законів не тільки не завадять займатися цікавою для них особисто справою, а й допоможе бути в ній серед перших і найуспішніших, бо як колись дотепно і дуже влучно зауважив один випускник Московського фізико-технічного інституту, що став усесвітньо відомим бізнесменом: "Хто зумів опанувати і розібратися в квантовій механіці, той з легкістю вивчить і зрозуміє що завгодно".

Тому хотів би закінчити гаслом: **фізику як одну з головних навчальних дисциплін сьогодення треба негайно брати під захист!**