

ЧИ МОЖЛИВО УПОВІЛЬНИТИ СТАРІННЯ ЛЮДИНИ? • У ЧОМУ Ж СИЛА ПІНКГО БІЛОБА?

СВІТ НАУКИ

SCIENTIFIC AMERICAN
ESTABLISHED 1845

№3-4 (19-20) 2003 індекс 48790 ISSN1029-3906

ЧАС

ISSN 1029-3906



9 771029 390991

03-04





**НОВИНИ
ТА
АНАЛІЗ**

НАУКА І СУСПІЛЬСТВО



Захоплені зненацька
Злущуючи бляшки
Вперед на гілля

ОБЛИЧЧЯ ЛЮДСТВА

Реальність рас
Саллі Лерман

14

МОВОЮ ЦИФР

Відмова від лікарень

16

ЖАРТОМА

Гарячий час Айнштейна

17

СПЕЦІАЛЬНИЙ ВИПУСК:

18 Дійсний час

ГАРІ СТІКС

Темп життя невпинно зростає,
але повне розуміння часових понять нам ще
недоступне.

22 Цей загадковий потік часу

ПОЛ ДЕЙВІС

Нам здається, що час минає, але насправді це ілюзія.

28 Рана у серці фізики

ДЖОРДЖ МАССЕР

Здається, що фізикам не вистачає часу.
Чи допоможуть їм філософи?

30 Як створити машину часу

ПОЛ ДЕЙВІС

Зробити це нелегко, але... можливо.

36 Від миттєвого до вічного

ДЕВІД ЛАБРАДОР

Що відбувається у часові інтервали від аттосекунди до
мільярда років.

74 Чи можливо уповільнити старіння людини?

Майкл Роуз

Теоретично, цілком можливо. Але такої мети
поки-що не можна досягнути лише одним
еліксиром. Майбутнім заходам проти
старіння протистоятимуть численні
деструктивні біохімічні процеси.



ПРОБЛЕМИ ЧАСУ

Час нашого життя 38

КАРЕН ВАЙТ

Біологічні годинники визначають ритм роботи нашого тіла і душі.

Згадуючи, коли... 46

АНТОНІО ДАМАСІО

Деякі структури головного мозку відіграють важливу роль у функціонуванні "психічного часу", котрий організовує наші переживання у хронологію подій, які ми запам'ятуємо.

Культура часу 54

КЕРОЛ ЕЗЗЕЛЛ

Що таке час? Відповіді на це запитання відрізнятимуться в різних суспільствах.

Годинниковий літопис 56

ВІЛЬЯМ ЕНДРЮС

Наше уявлення про час залежить від того, як ми його вимірюємо.

Найточніші годинники 66

ВЕЙТ ГІББЗ

Атомні годинники наближаються до крайньої межі точності.

Остання миля — за допомогою лазера 81

ЕНТОНІ АКАМПОРА

Інфрачервоні лазери з малим радіусом дії спроможні поширити мультимедійні послуги у домівки та офіси.

У чому ж сила Гінкго білоба? 86

ПАУЛЬ ГОЛЬД, ЛЕРРІ КАХІЛ, ГАРІ ВЕНК

Ці трав'яні добавки можуть дещо покращити вашу пам'ять... подібно до тістечка. Також: Марк А. МакДаніел, Стівен Ф. Майер і Жіль О. Айнштайн обговорюють інші "стимулятори мозку".



ОГЛЯДИ І КОМЕНТАРІ

Зв'язки Джеймса Берка
Яке нахабство



92

Чудеса

Філіна Моррісона та Філіс Моррісон
Мережачи космічні глибини



МАТЕМАТИЧНІ РОЗВАГИ

95

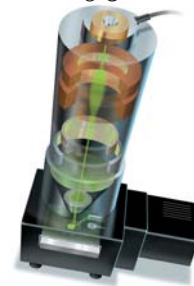


ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

ТОЧНЕ ФОКУСУВАННЯ
Сканувальні електронні
мікроскопи

МАРК ФІШЕТТІ

96



Портрет номера:

Герберт Джордж ВЕЛС (1866-1946), англійський письменник, біолог за освітою (навчався разом з Т. Гакслі). Всесвітню славу принесли науково-фантастичні романи "Машина часу" (1895) та "Війна світів" (1898), багато екранізованих кіно- та радіопостановок. Тематика виявилась плідною і більшість поважуючих себе фантастів прийняли її як обов'язковим пунктом проби сил. До своїх романів Велс долучав до ще й політичну сатиру з застереженнями щодо небезпечних наукових відкриттів, одночасно з великою вірою в науковий прогрес. Своїм соціалістичним переконанням дав вираз в декількох комедійних повістях (1905-1910), але переконання похитнулись після нарису "Росія в імлі" і дали поштовх до подальших розв'язань над проблемами майбутнього.

Котра година? Це буденне запитання звучить сьогодні частіше, ніж будь-коли раніше. Відповіді на нього просто — досить глянути на годинник чи мобільний телефон. Ми продовжуємо дрібнити наше буття на чимраз коротші відрізки, постійно ущільнюємо свій розклад, знаючи час із точністю до хвилини. Зараз 20:03.

Однак сучасні уявлення про час позбавляють це запитання будь-якого змісту. Ми намагаємось якомога точніше знати, котра година, але миттєве й примарне “зараз” перетворюється у пил наносекунд. Обмежене швидкістю світла та швидкістю проведення нервових імпульсів, наше сприйняття реальності мале нам світ таким, яким він був... якусь мить тому. І хоч наша свідомість всіляко цьому опирається, ми ніколи не подолаємо цього часового розриву. Абсолютна синхронізація принципово неможлива. За теорією відносності, час — наче дивний сироп, який у швидкісному потязі тече повільніше, ніж на станції, а в горах швидше, ніж у долині. Час на нашому годиннику відрізняється від часу в нашій свідомості. О, вже 20:04.



Наше інтуїтивне уявлення про час сповне парадоксів. Час усе лікує і все знищує. Він відносний, але невластивий. У нашому світі на все є свій час, але цього часу завжди бракує. Час летить, повзе, біжить і навіть зупиняється. Секунди можуть стиснутися до непомітних митей або розтягнутися на цілу вічність. Муха-одноденка якось запитувала, скільки житиме оленятко Бембі, на що отримала відповідь: “Олені живуть вічно!”. Наче морський приплив, час нікого не чекає, але в драматичні моменти зупиняється. Час індивідуальний, як серцебиття, і публічний, як годинник на міській вежі. Ми змушені лише змиритися з таким протиріччям. Зараз, напевно, 20:05.

Звичайно, час — це гроші. Це найтвердіша валюта, прихильник змін і супротивник швидкості. Час — наш справжній скарб, наше особистісне надбання. Але ми навіть не можемо увягти собі, куди він сечає. Третину життя ми не знаємо, коли настане наша остання хвилина. Ми винаходимо сотні способів зберегти час, але він утікає від нас, як вода між пальцями. Уже 20:06.

Час і пам'ять формують нашу самосвідомість. Ми відчуваємо себе рабами історії й водночас пишаємось тим, що творимо майбутнє. Така концепція повністю суперечить уявленням фізиків та філософів: якщо час — четвертий вимір, який доповнює три просторових, то “вчора”, “сьогодні” й “завтра” однаково реальні та об'єктивні. Тобто майбутнє нічим не відрізняється від минулого, просто у ньому ми ще не були. Зараз приблизно 20:07.

“Я зроблений з часу, — писав аргентинський письменник Хорхе Луїс Борхес. — Час — ріка, що несе мене, але й сам я — ріка; він — тигр, що пожирає мене, але й сам я — тигр; час — це полум'я, що поглинає мене, але воно — це я сам”. Інший великий чоловік на ім'я Мойсей якось сказав, що час нашого життя та людська доля визначаються не самою людиною, а тим Божим, що суть над її головою в небесах. Соломон уточнював: мовляв, майбутнє та щастя самої людини формує те, що у неї в голові. Христос заповідав: лише у своєму серці ми можемо знайти все, що потрібно у цьому й наступному житті. Маркс, опускаючись нижче, наполягав, що лише шлунок і те, наскільки він заповнений, впливає на людину та її бачення сьогодення. Фрейд запевняв усіх, що тільки те, що нижче від живота, визначає час активного життя людини. І лише Айнштайн переконав усіх, що все це відносне.

У цьому спеціальному випуску нашого журналу зібрано різнопланові статті про те, що відомо сучасній науці про Час та його значення для Всесвіту й внутрішнього світу кожного з нас. Ці знання збагатять уяву і забезпечать реальну перевагу в житті тим, хто захоче перегнати час або принаймні йти із ним в ногу. Згадаймо слова Джексона Брауна: “Пам'ятай, що в Айнштайна, Черчїлла і в тебе однакові день і ніч...” Отаке-то...

Зараз 20:08. Звіримо годинники?


zavadka@meduniv.lviv.ua

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

доц. Олександр ЗАВАДКА 
zavadka@meduniv.lviv.ua

НАУКОВІ КОНСУЛЬТАНТИ

акад. Анатолій ШПАК, акад. Ярослав ЯЦКІВ,
акад. Борис ЗІМЕНКОВСЬКИЙ,
проф. Іван ВАКАРЧУК,
акад. Дмитро ЗЕРБІНО

НАУКОВА РЕДАКЦІЯ


проф. Олександр ЛУЦІК,
проф. Ростислав СТОЙКА,
проф. Володимир ПОТУЛЬНИЦЬКИЙ

РЕДАКЦІЙНА РАДА

Адріан БАРАНЦЬКИЙ, В'ячеслав БОГДАНОВ,
Мечислав ГЖЕГОЦЬКИЙ, Павло ДЖУЛЬ,
Богдан КОЖЕНЬОВСЬКИЙ, Володимир МАЧУЛІН,
Богдан НОВОСЯДЛИЙ, Олексій СИДОРЕНКО,
Олексій СКРИПНИК,
Юрій ФІСАН, Віталій ХАРЧЕНКО

Відповідальний секретар: Юрій МАТВІЄНКО
Керівник відділу перекладу: Ігор СЛОБОДЕНЮК
Керівник відділу маркетингу та менеджменту:

Андрій КАЛІНЮК

Переклад: Степан АПУНЕВИЧ ,

Ростислав БІЛИЙ , Тарас ГРИЦУЛЯК ,

Андрій ДАНИЛОВ , Юрій ДАЦЮК ,

Ганна ДОБРИДНИК , Лїліана КОЗАКОВА ,

Олена ЛОПАТИНСЬКА , Юрій МАТВІЄНКО ,

Олександр ФЕДОРЕНКО , Богдан ФІЛЬ 

Верстка та дизайн: Юрій КУРІЙ

Комп'ютерний набір: Ірина ОМЕЛЬЧЕНКО

Літературна редакція:

Ігор ПОЛЯНСЬКИЙ, Тетяна ХОМЕНКО

Консультанти з економіки:

Володимир БАНДЕРА, Богдан МАЛАНЯК,
Богдан МИКИТИН,

Художник: Сергій ГЕРАЩЕНКО

© 1998-2003 Усі права застережено. Жодна з частин цього видання не підлягає механічному, електронному чи фотокопіюванню, передачі або свідомого розмноження з метою публічного чи особистого використання без письмової згоди видавця.

Ліцензійне право: Scientific American, Inc.
415 Madison Avenue New York, NY 10017-1111

Editor in Chief

John Rennie

Chairman Emeritus

John J. Hanley

Chairman

Rolf Grisebach

President and Chief Executive Officer

Gretchen G. Teichgraber

Vice President and Managing Director International

Charles McCullagh

Vice President

Frances Newburg

ВИДАВЕЦЬ:

ВИДАВНИЧИЙ ДІМ

НАУТИЛУС



Поштова адреса: 79010, УКРАЇНА, м. Львів, вул. Пекарська, 69.

Тел: +380 (322) 75-58-56, факс 755-947.

E-mail: nautilus@meduniv.lviv.ua,

http://www.meduniv.lviv.ua/nautilus/index.shtml

http://www.nautilus.com.ua

Друк: “МАНДАРИН” ТзОВ “ВГ “Експрес”

Замовлення №

Наклад: 5000.

Це число здійснене за грантової підтримки
Національної Академії Наук України.
Ліцензійне право за сприяння добродія
Григорія МАЛИНОВСЬКОГО

50, 100 та 150 років тому



1953

ЗЕЛЕНЬ НА ОБІД. “Чимало вчених з усього світу зацікавилися харчовими якостями їстівних водоростей. На підставі проведених лабораторних експериментів можна припустити, що з кожного акра (0,4 га), виділеного під культивування *Chlorella*, можна впродовж року збирати урожай, який загалом міститиме 20 тонн білків і 3 тонни жирів — астрономічні цифри порівняно із сучасною продуктивністю звичайного сільського господарства. Значимість водоростей для світового виробництва харчових продуктів залежить від собівартості та продуктивності повномасштабної культури. Для синтезу кожної тонни водоростевих білків потрібно близько 1,1 тонни нітрату калію та 1,75 тонн сульфату амонію”.

1903

НЕВДАЧА ЛЕНГЛІ. “Той, хто цікавиться повітряною навігацією, може поспівчувати професорові Самуелю П'єрпонту Ленглі, останній експеримент якого не лише з тріском провалився (аероплан відмовив у польоті), але й зазнав нищівної критики в пресі. Цей аероплан — плід багатьох років невтомних досліджень та безперервних експериментів професора. Згадана невдача — важливий етап у вирішенні проблеми повітряної навігації, але в жодному разі її не можна вважати повним провалом. У своєму повідомленні професор К. Л. Менлі пише, що опори, які утримували аероплан на спусковому пристрої [див. ілюстрацію] і які мали відділитися в момент падіння, виявилися ушкодженими”. [Примітка редактора: невдачі у цьому випробуванні, а також у наступному, здійсненому 8 грудня 1903 року, спровокували таку нищівну суспільну критику, що Ленглі обличив авіаційні дослідження].

ДАЙТЕ ПРИПАЛИТИ! “Законом від 10 травня 1903 року Німеччина заборонила використання білого фосфору у виробництві сірників. Замінити шкідливий та небезпечний білий фосфор повинен новий матеріал на основі неотруйного червоного фосфору та хлорату калію. Незважаючи на порівняно високу температуру займання, нові сірники можна запалити, черкнувши практично об будь-який матеріал: наждачний папір, цеглу, підшву черевика, жорсткий одяг і т. ін. Менша горючість нового матеріалу може



АЕРОПЛАН ЛЕНГЛІ на катапульті, 1903

стати його великою перевагою, особливо якщо згадати пожежі, спричинені займанням сірників із білого фосфору під дією сонячних променів”.

АМЕРИКАНСЬКЕ ЗДОРОВ'Я. “За час окупації американцями Куби жовту лихоманку вдалося неабияк приборкати. До цього спричинилося систематичне винищення москітів та розвінчання давніх вірувань армійських хірургів. Розвіюючи загальне переконання, що жовта гарячка — це смертельно небезпечна і надзвичайно заразна хвороба, експерти нашої армії довели, що насправді жовту гарячку поширюють москіти. Спроби винищити москітів на Кубі виявилися результативними, тож із часом кубинські міста звільняться від жов-

тої гарячки, як це вже сталося у наших південних портах”.

МУРАХИ — “Раптова поява в каналізаційних системах Нового Орлеану орд мурах нагадує одну з єгипетських кар. Вони знищують дерев'яні будівлі й намагаються проникнути у склади з цінними товарами. На вологому ґрунті мурахи не могли інтенсивно розмножуватися, але з настанням посушливих днів ситуація кардинально змінилася”.

1853

ВУГІЛЛЯ ДЛЯ ПОЇЗДІВ — “За незначними винятками, дерево — єдине паливо для паровозних котлів. Але воно стає настільки дефіцитним, що варто врешті подумати про якусь заміну. Найкращий кандидат — антрацит, адже він найдешевший і дає найменше кіптяви та відходів. Однак це паливо надто швидко руйнує паровий котел, тому загальної економії досягти не вдається. Крім того, певні застереження викликає інтенсивність розігріву. Проте усі сумніви розвіює двигун Міллгоlanda. Двад-

цять вісім локомотивів першого класу, обладнаних двигунами Міллгоlanda, що працюють виключно на антрациті, вже сьогодні експлуатуються на Редінгській залізниці у Пенсільванії. Жоден машиніст не проміняє новий локомотив на старий, адже перший набагато простіше обслуговувати, та й їде він швидше”.

ПИСК МОДИ — “Імпорт мавпячих шкір став важливим бізнесом у Салемі. “Gazette” пише: “На кілька років шкіра мавп стала ходовим товаром. Можна з певністю стверджувати: не одна світська дама поважно хизуватиметься капелюшком із мавпячої шкіри чи рукавичками з ондатрового хутра, не сумніваючись у якості своїх аксесуарів”.

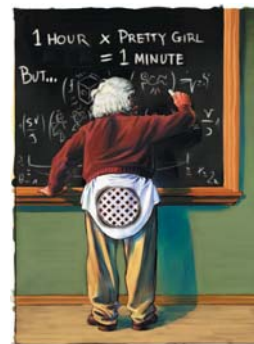
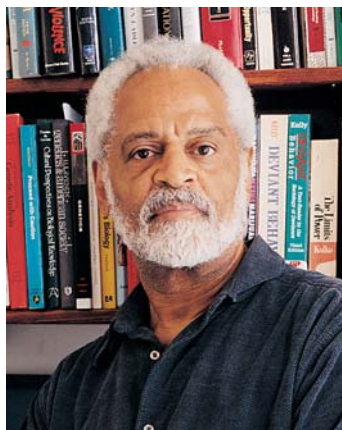
НОВИНИ ТА АНАЛІЗ

10
Після
падіння



12
Вперед, на гілля

14
ОБЛИЧЧЯ
ЛЮДСТВА



17
ЖАРТОМА

НАУКА І СУСПІЛЬСТВО

НОВІ ХВОРОБИ

Захоплені зненацька

SARS виявив слабкі місця у світовій системі проти епідеміологічного захисту

Крістіна Соарес

“Лікарні закрили, а люди вмирають”. Це коротке й страшне повідомлення з міста Гуангхоу стало однією з перших вісточок для світового співтовариства про хаос у південній китайській провінції Гуангдонг, що виник унаслідок нестримного поширення загадкової хвороби, нині відомої як SARS (складний атиповий респіраторний синдром). “Коли я отримав це повідомлення, у провінції вже почалася паніка, що супроводжувалася масовими демонстраціями на вулицях”, — говорить відставний лікар-інфекціоніст Військово-морського флоту США Стефан Канніон про лист від свого товариша, який він тут же надіслав у ProMed-mail — міжнародний реєстр інфекційних хвороб.

Китайські чиновники запропонували дивне пояснення, вважаючи що таємничість та вперте мовчання упродовж кількох місяців після появи хвороби у листопаді дозволять не допустити поширення інфекційної хвороби. Але таким чином Китай міг би зробити світові своєрідну послугу, виявивши його неготовність до потенційної руйнівної епідемії — природної чи спричиненої внаслідок терористичного акту.



ПРИВИД SARS змусив стюардес компанії Катарських авіаліній одягати маски по прибутті до Джакарти, Індонезія.

Коли SARS до середини квітня уразив 22 країни, ця готовність виявилася дуже непереконливою.

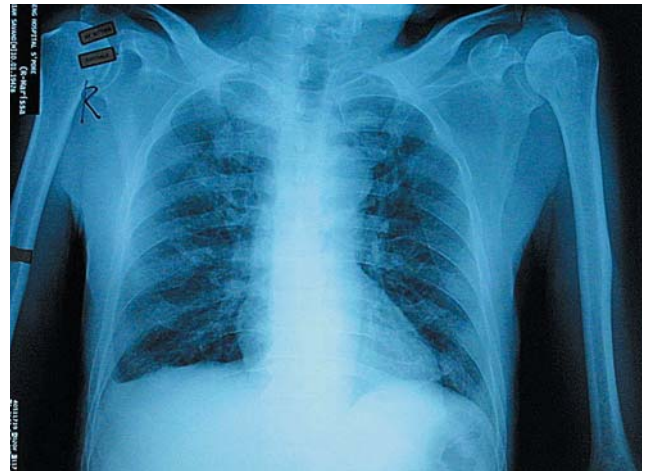
“Ми, безперечно, не були цілковито готові”, — стверджує Девід Хейманн, головний директор з інфекційних хвороб Всесвітньої організації охорони здоров'я. Його глобальна стривоженість допомогла більшості країн підготуватися до зустрічі з SARS. “Ми завжди були впевнені, що Гонконг із його сучасними та добре фінансованими можливостями — поза небезпекою. Щоправда, ми сумнівалися в готовності Китаю. Тепер нам доведеться переглянути наше ставлення до Гонконгу”.

Галопуюче поширення вірусу атипової пневмонії натомість не здивувало Інститут медицини (ІМ), який у березні, не привертаючи надмірної уваги, оприлюднив звіт “Мікробна загроза здоров'ю: поява, виявлення та відповідь”. Він став логічним доповненням розпочатого у 1992 році аналізу “дірок” у системі американського захисту від природних мікробних атак. Останній аналіз ІМ має глобальне спрямування і допускає ризик біотероризму. І хоч у новому дослідженні зафіксовано кілька покращень, його загальний висновок невтішний — “чимало фронтів залишаються незахищеними”.

У звіті відзначено покращення глобального контролю (ще б пак, враховуючи, що жодної з електронних систем, які сповістили світові про SARS, у 1992 році ще не було), але експерти оцінюють його невідповідно. Автор першого звіту ІМ Стефан Морзе з Колумбійського університету переконаний, що світова система охорони здоров'я не спрогресувала. “Надто багато знань залишаються розрізненими. Природа не стоїть на місці, — каже він, — як і потенційні терористи”. Наприклад, дізнавшись ще 9 лютого (відносно рано) про серйозний спалах пневмонії в Гуангдонг, ВООЗ не могла нічого зробити без співпраці з боку самого Китаю. “Ми ніколи не зможемо виконувати свою роботу, якщо країна спростовує інформацію”, — з жалем усвідомлює Хейманн. Минув цілий місяць, поки ВООЗ стало відомо про хворих на пневмонію, які інфікували незвично численний лікарняний персонал у Ханой, Гонконгу та Сінгапурі. Для Гонконгу це було надто пізно; здатність вірусу SARSу поширюватися не тільки через тісний контакт, але й через забруднені поверхні та, можливо, через стічні води, захопила місцевих чиновників зненацька. Десятки нових випадків щодня (причому багато хворих працювало в лікарнях) спричинили паніку, міські чиновники з питань охорони здоров'я припускали, що до початку квітня не зможуть стримувати поширення захворювання.

Відвернути загрозу для медичних інфраструктур покликана нова американська програма вакцинування співробітників системи охорони здоров'я проти віспи. Проте немає вакцини проти якогось іншого біоагента з “категорії А” (найвищий рівень біонебезпеки), серед яких найстрашніша потенційна зброя — патогени чуми, туляремії, Еболи. І жодна вакцина не змогла ефективно протидіяти збудникові SARSу — коронавірусу, настільки відмінному від інших представників цієї розмаїтої вірусної родини, що він був виділений в окрему групу.

Навряд чи SARS може бути продуктом біоінженерії. На думку Морзе, сьогодні терористи схильні застосовувати ві-



ПІДОЗРА НА SARS виявляється за застоєм рідини, яка на рентгенограмі виглядає як дифузні світлі ділянки в легенях, найкраще помітні між ребрами.

домі патогени, а не винаходити нові, але “через кілька років ті з них, хто оволодіє найдосконалішим технічним оснащенням, зможуть створювати значно складніші речі”.

ІМ наголошує, що американські дослідні підприємства повинні принаймні не відставати. Адже загроза біотероризму — це частина дійсності, де повно природних хвороб. Тому автори вимагають прискорити реалізацію національної “Програми всесторонніх досліджень інфекційних хвороб”. До речі, варто згадати, що саме мікроматриця вірусних генів, первинним призначенням якої було дослідження інфекційних хвороб, дала Центрам контролю та запобігання хворобам ту провідну нитку, яка врешті привела до ідентифікації коронавірусів як збудників SARSу. (З часом дослідження на тваринах остаточно викрили злощасний коронавірус).

Озброєний збільшенням у шість разів бюджетом, Національний інститут алергії та інфекційних хвороб (NIAID) активно залучає дослідників до розробки новітніх антимікробних засобів та вакцин. Запропонований проект “БіоЗахист”, спрямований проти патогенів категорії “А”, спокушає біотехнологічні компанії шестимільярдным фондом та гарантованими споживачами в особі федерального уряду. Крім того, NIAID запрошує біотехнологічні компанії до розробки вакцини проти SARSу. Стимул серйозний — вакантний світовий ринок. Словом, маючи перед собою обнадійливий приклад міжнародної лабораторної мережі, яка безпрецедентно швидко ідентифікувала збудника атипової пневмонії, і доклавши відповідних зусиль, сучасна наука може довести, що вона здатна перемогти у серйозній битві з мікробною загрозою.

Хейманн сподівається, що світ зробить належні висновки після випадку із SARS: “Це чудова підготовка до того, що могло б статися. Коли згадуєш про інші хвороби, що вже встигли поширитися (наприклад, СНІД), розумієш, що наступну можливу хворобу ми повинні подолати швидше — набагато швидше”.

Крістіна Соарес працює журналістом у Нью-Йорку.

Злушуючи бляшки

Дослідники оптимістично оцінюють перспективи розробки вакцини проти хвороби Альцгаймаера

ВИВЧЕННЯ ДЕМЕНЦІЇ

Навіть якщо вдасться розробити ефективну вакцину проти хвороби Альцгаймаера, постане питання: а кого ж вакцинувати? Справа в тому, що на сьогодні кожен клінічний випадок цього захворювання можна підтвердити лише за допомогою секції, яка й виявляє амілоїдні бляшки та пучки у головному мозку. Проте нові методи нейровізуалізації вже спроможні забезпечити належну діагностику. Науковці з Каліфорнійського університету (Лос-Анджелес) використовують позитронно-емісійну томографію (PET) для відстежування нового радіоактивного маркера FDDNV. З його допомогою у 9 живих пацієнтів з хворобою Альцгаймаера вдалося виявити пучки мертвих клітин у центрах пам'яті головного мозку. На подальшій секції в одного із пацієнтів точність цього методу було верифіковано. PET може допомогти лікарям діагностувати хворобу на ранніх стадіях та оцінювати ступінь її прогресування під час лікування.

Минулої осені у США та Європі проводилися клінічні випробування широко розкритої вакцини, яка нібито успішно бореться з хворобою Альцгаймаера. У лютому, однак, випробування раптово припинили після того, як у 15 тестованих пацієнтів розвинулося запалення головного мозку. Розробник вакцини, ірландська фармацевтична компанія Elan, припинила ін'єкції ще 360 волонтерам. Лікарі тим часом намагалися з'ясувати природу побічних ефектів. Незважаючи на цю прикру затримку, прихильники вакцини переконані, що імунну систему можна "натренувати" і змусити ефективно боротися із захворюванням, навіть якщо наразі й неясно, як діє сама вакцина.

Остання розробка (AN-1792) — синтетична версія бета-амілоїдного

білка. При хворобі Альцгаймаера цей білок перестає розчинятися й поступово накопичується в білуватих бляшках головного мозку, призводячи до руйнування нервових клітин і деменції.

У 1999 році Дейл Шенк (сьогодні — віце-президент компанії Elan) повідомив, що експерименти з AN-1792 на мишах наводять на думку про те, що вакцина спроможна вилікувати навіть хворобу Альцгаймаера. На сьогодні з'ясовано, що у генетично модифікованих до розвитку людського захворювання вакцинованих мишей утворювалися антитіла, котрі не лише запобігали формуванню скупчень липкого протеїну, але й усували старі амілоїдні бляшки.

Втім, досі незрозумілий механізм цього процесу. Одна з теорій стверджувала, що антитіла проти бета-амі-

WWW.SCIAM.COM КОРОТКО

Ці повідомлення і багато інших знаходяться на www.sciam.com/news_directory.cfm

- Найбільш визначною знахідкою десятиліття проголошено викопний череп невідомої гомініди, виявлений у Чаді. Сягаючи віком майже семи мільйонів років, він представляє найпримітивніше та найдревніше з усіх людських створінь.
- Дослідники почали сумніватися щодо участі *Pfisteria* у масовій загибелі риби у 1990-х, виявивши, що цей мікроорганізм має менше стадій життєвого циклу, ніж раніше вважалося, і є нетоксичним.
- Не краще від плацебо: Артроскопічна хірургія коліна, в ході якої усувається зношений хрящ, для полегшення болю або покращення ходи дає такі самі результати, як і несправжні операції.
- Нанокристали селеніду кадмію, вкриті індієм, можуть виконувати роль замітника рослинних листків, перетворюючи у темряві діоксид вуглецю в інші органічні молекули.

РИБАЛЬСТВО

Розмір сітки

Встановлення мінімальних розмірів риби, призначеної для промислового вилову, колись призведе до зменшення розмірів самої тарілки. Науковці-дослідники моря Девід Коновер і Стівен Манч із Державного університету штату Нью-Йорк у Стоні-Брук розводили в лабораторних умовах найкращі зразки атлантичних риб, згодом виловлюючи їх за певним принципом. Вилов найбільших, переважно старших і статевозрілих особин через чотири покоління призвів до зменшення середнього розміру риби. Натомість виловлювання менших риб спричинює появу майже вдвічі більших нащадків у четвертому поколінні. Селективний відбір, стверджують вчені у *Science* за 5 липня 2003 року, може спричинити генетичні зміни, які звужують популяції комерційно цінних видів. Не всі біологи погоджуються з тим, що лабораторні результати цілком застосовні до дикої

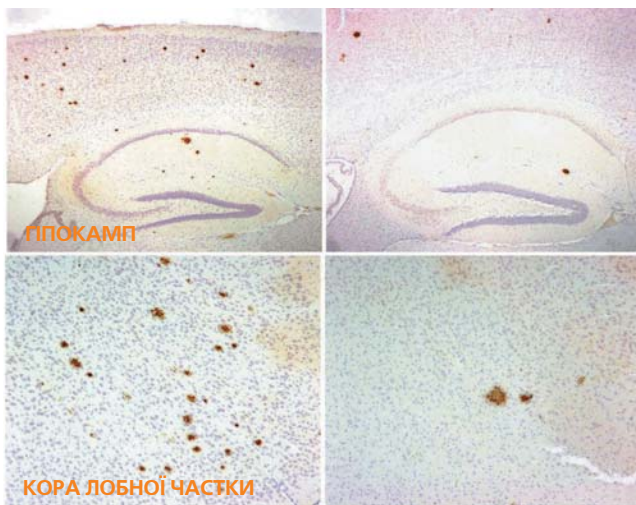


ОДНАКОВИЙ РОЗМІР РИБИН

регламентований правилами, але це може скоротити майбутній улов.

природи, вказуючи на те, що деякі популяції адаптуються до інтенсивного вилову, дозріваючи швидше.

Філіп Ям



У ВАКЦИНОВАНИХ МИШЕЙ (фотографії праворуч) відкладів амілоїду (темні плями) у головному мозку значно менше порівняно із невакцинованими (фотографії ліворуч). Hippocampus - гіпокамп; Frontal cortex - кора лобної частки.

лоїду спроможні долати гемоенцефалітарний бар'єр. Після цього вони утворюють комплекс із патологічним білком, який запускає механізм знищення бляшок завдяки посередництву мікроглії — специфічних клітин головного мозку.

Сумнівність такого пояснення полягає в тому, що зазвичай антитіла занадто великі, аби подолати вищезгаданий бар'єр. Тому мало ймовірно, що описаний механізм справді уможливило пригнічення вакциною амілоїдної патології, зауважує Девід Гольцман, невролог із медичної школи Вашингтонського університету. У ході експериментів на мишах він виявив, що лише 0,05% усіх антитіл, які циркулюють у крові, трапляються у спинномозковій рідині. “Тієї кількості антитіл, яка долає гемоенцефалітарний бар'єр, замало для активування мікроглії”, — каже вчений.

Нові дослідження переконують: для руйнування амілоїдних бляшок антитілам не обов'язково потрапляти безпосередньо у головний мозок. Є чимало доказів, що антитіла зв'язують бета-амілоїд у крові — далеко поза межами центральної нервової системи. Кров виводить бета-амілоїд з мозку, зміщуючи рівновагу на користь розчинного білка (на противагу нерозчинному, пов'язаному із бляшками).

Група Гольцмана виявила різке (у тисячу разів!) збільшення концентрації бета-амілоїду в крові мишей з експериментальною моделлю хвороби Альцгеймера після імунізації — на відміну від тих, котрі не дістали вакцини. Цей сплеск, імовірно, має мозкове походження. Через п'ять місяців у вакцинованих мишей було набагато менше амілоїдних бляшок порівняно з контрольними тваринами.

Сінтія Лемер, невропатолог із Брайтемського жіночого госпіталю в Бостоні, спостерігала подібний ефект у мишей, імунізованих власноруч розробленою бета-амілоїдною носовою вакциною, клінічне випробування якої має розпочатися наприкінці цього року. Нещодавно вона виявила комплекси антитіл-амілоїдів у селезінці вакцинованих тварин. Це свідчить про те, що амілоїдні антитіла у крові обробляються так само, як і інші білкові антитіла.

Водночас побічні ефекти, виявлені при випробуванні AN-1792, підтверджують, що частина антитіл усе ж потрапляє в головний мозок. “Перша реакція, яку завжди спостерігаєш після вакцинації миші, — запалення, — зауважує нейробіолог Девід Морган з Університету Південної Флориди. — Під час клінічних випробувань AN-1792 пацієнти, ймовірно, пережили щось подібне”. І хоча запалення не вбиває мишу, воно, зрештою, пригнічує активовану мікроглію. На думку вченого, якби під час випробування AN-1792 пацієнтам надали більше часу для регресу набряку, з ними нічого не сталося б.

Перевірити це, припинивши випробування, уже, на жаль, неможливо. Тому цих хворих інтенсивно вивчають, щоб виявити додаткові побічні ефекти й побачити хоча б якесь зменшення проявів хвороби Альцгеймера. Компанія розробила ще декілька аналогів AN-1792, які сподівається перевірити найближчим часом.

І все ж, навіть якщо ці вакцини не викличуть небажаних ефектів, залишається надто багато запитань. Найтривожніше з них: чи не може сама вакцина викликати нейродегенеративні зміни? Адже бета-амілоїд має тенденцію злипатися, стаючи своєрідною “затравкою”. “У мишей нічого такого ми не спостерігали, — каже Гольцман, — але хто дасть гарантію, що з людьми буде все гаразд?”

Даяна Мартіндейл — науковий кореспондент із Нью-Йорка.

ВУЛКАНИ

Вогонь та лід

Навряд чи лід здаватиметься вам хорошим паливом, але Джон Макленнан із Паризького геофізичного інституту та його колеги можуть з вами не погодитися. Вони стверджують, що давні вулкани в Ісландії раптово активізувалися внаслідок відносно швидкого танення снігових покривів кілометрової товщини протягом останніх 10 000 років. Звільнена від ваги снігу земля в такий спосіб вивільняється від тиску гарячих шарів мантії в її надрах.



Команда проаналізувала масивні потоки лави за цей період, навівши перші переконливі докази того, що зменшен-

ГУРКІТ ВУЛКАНІВ супроводжує відступ льодовиків. Це підльодовикове виверження відбулося у Грімсвоетні, Ісландія.

ня тиску може викликати плавлення шарів мантії та їхній підйом на поверхню. Потоки, хімічний склад яких свідчить про їхнє походження саме з мантії, а не з поверхневих шарів кори, говорять про майже стократне збільшення частоти вивержень за останні 1500 років. Звіт учених опублікований у журналі *G³ (Геохімія, Геофізика, Гео-системи)*.

Сара Сімсон

Вперед на гілля

Дивовижна нова знахідка розповідає про те, звідки взялися мавноподібні

Кейт Вонг

Примати, які нині існують вражають різноманіттям форм — від африканських мавпенят з витрішкуватими очима, хоботних мавп Борнео (Піноккіо серед приматів) до людей, двоногих космополітів. Проте всіх їх об'єднує наявність великого мозку, спрямованих уперед очей, нігтів замість пазурів, здатність хапати та стрибати. Впродовж майже трьох десятиліть еволюційні біологи ламали голови над питанням, яким чином сучасні примати набули цих характерних ознак. Деякі вчені вважали, що ці риси виникли, щоб полегшити полювання на комах, інші твердили, що вони дали можливість добувати фрукти з кінчиків гілок, а ще інші розглядали ці риси як адаптацію до способу пересування, який поєднував хапання і стрибки. Але розрізнені викопні рештки первісних приматів — в основному зуби та окремі скелетні кістки — ставили дослідників у скрутне становище, не дозволяючи перевірити ці гіпотези.

Цікава знахідка, зроблена у безплідних територіях штату Вайомінг, дає відповіді на деякі з цих запитань. Нещодавно палеонтологи викопали майже цілий скелет (якому 55 мільйонів років) істоти, завбільшки з білку, відомої як *Capolestes simpsoni*. Як і сучасні примати (або як їх називають, юпримати), вона має довгі пальці на руках і на ногах, а також нігті на пальцях, серед яких один може протиставлятися решті, що дає змогу вхопитися за довгі тонкі гілки дерев. Але на відміну від юприматів очі в цієї тварини розташовані з боків, а ноги пристосовані для того, щоб лазити, а не стрибати. Раніше деякі вчені поміщали карполестидів та їхніх родичів — групу, відому як плезіадапіфорти — у категорію ширяючих ссавців, так званих дермотеранів. Але анатомія новознайденого екземпляра вказує своїм відкривачам Джонатану І. Блоху з Гірничої школи Південної Дакоти та Дагу М. Боєру з Мічиганського університету в Енн Арборі, що *Capolestes* та супутні плезіадапіформи були

насправді архаїчними приматами, тісно спорідненими з предком сучасних лемурув, мавп, людиноподібних мавп та людей.

У цьому випадку *Capolestes* дає нам перші викопні докази того, що примати набували своїх характерних рис поступово. “Початково теорія походження приматів розглядала всі ці характеристики в комплекті”, — зазначає палеонтолог з Вашингтонського університету Д. Теб Расмуссен, підкреслюючи, що до цього відкриття серед викопних решток знаходили екземпляри, які мали або всі ці особливості, або не мали жодної. За словами Расмуссена, Блох



Точка опори на тонких гілках дерев дає змогу *Capolestes* дістатися до плоду.

та Боєр “зуміли показати, що початковими були адаптації до того, щоб ухопитися за кінець гілки, а деякі інші риси мабуть з'явилися трохи пізніше”.

Ця знахідка узгоджується з даними палеоботаніки, які свідчать, що квітучі рослини щойно розвинули справжній ріг достатку нових плодів, квітів, смол і нектарів, щоб спокушати запилювачів та розповсюджувачів насіння. Свавець, який би відважився дістатися до нестійкого кінчика гілки, де багато плодів і квітів, отримав би щедру винагороду. А щойно примати перейшли на харчування плодами з кінчиків гілок, їм потрібно було лише трохи часу, щоб розвинути спрямовані вперед очі для полювання на комах, які роїлися довкола плодів та кві-



Первісний примат
Capolestes simpsoni.

тів. (Блох та Боєр також висловлюють гіпотезу, що конкуренція з гризунами, які частково жили на деревах і які саме в цей час почали поширюватись по планеті, мабуть допомогла змусити первісних приматів залізти на гілля).

Для того, щоб точно визначити, як і коли виникли характерні для юприматів риси, треба більше викопних решток. Можливо, деякі дані буде отримано після аналізу ще п'яти плезіадапіформ, над якими зараз працюють вчені. Всіх їх було вийнято з того самого шматка вапняку, завбільшки з взуттєву коробку, в якому знаходився *Capolestes*. Цього літа Блох та Боєр збираються в Крейзі Маунтін Пейсік у Монтані, щоб зібрати викопні рештки зі значно старших покладів. Але видобування решток з каменю — надзвичайно важка праця. Вапняк слід поступово розчиняти, а положення кожної кістки треба докладно реєструвати, щоб зберегти важливу інформацію щодо того, яка кістка до якого скелету належить. Отже мине ще багато часу, поки буде знайдено корені генеалогічного дерева приматів. РБ

Примати ? крейдянського періоду

Минулої весни Роберт Д. Мартін з Чиказького Геологічного музею доводив на основі молекулярних даних, що примати виникли 80 мільйонів років тому впродовж крейдянського періоду, коли по Землі ще бродили динозаври. Проте найстарішим решткам приматів, що не викликають жодних сумнівів, лише 55 мільйонів років. Тепер класифікація *Capolestes* та інших плезіадапіформ як приматів розширює період існування цієї групи до 65 мільйонів років. Чи можуть палеонтологи врешті знайти приматів крейдянського періоду? Малоімовірно, але можливо, каже Джонатан І. Блох з Гірничої школи Південної Дакоти. Хоча викопані рештки з часів крейдянського періоду були докладно зареєстровані у Північній Америці, Європі та Азії, певні несподіванки все ще можуть залишатися у Південній Африці та на території Індії.

Вторинні землетруси

Землетрус на Алясці провокує серію підземних поштовхів у США

Наомі Любік

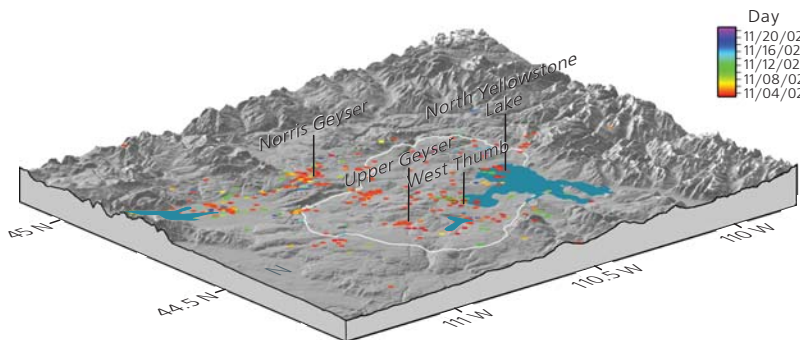
У листопаді минулого року сильний землетрус уздовж скиду Деналі на Алясці вигнув місцеві шосе й трусонув аляскинським нафтопроводом. Дивним відлунням цього 7,9-бального удару стала серія незначних поштовхів, зареєстрованих за тисячі кілометрів на південь. Цей факт переконав геологів у тому, що, ймовірно, більшість сильних поштовхів мають далекосяжніший вплив, ніж вважалося досі.

Землетрус Деналі став третім за останні 10 років, який спричинив слабші поштовхи в інших місцевостях. Два інших сталися у Південній Каліфорнії: у 1992 році — в Лендерсі та в 1999-му — в Гектор Майн. Усі три мали вплив на ті самі геотермальні вулканічні поля Національного Єллоустоунського парку в штаті Вайомінг, парку Маунт Реньє в штаті Вашингтон та кількох ділянок у Каліфорнії. Ці поля зазвичай потроху собі гуркочуть — даються ознаки гарячі джерела, нагріті магмою, яка закипає глибоко під землею. Однак вторинні землетруси, які сталися тоді, вийшли далеко за межі фонові сейсмічності. І вчені досі не розуміють, чому так сталося.

Землетрус на Алясці з епіцентром приблизно за 200 кілометрів (125 миль) на північний схід від Анкореджа викликав цілу серію сейсмічних хвиль. Він міг спричинити незначні розширення й скорочення земної кори, які, своєю чергою, могли зрушити скиди, що мали ось-ось обвалитися. Це непогано пояснює серію тих поштовхів, які сталися одразу після землетрусу Деналі. Але низка вторинних землетрусів відбулася наступного дня й пізніше, вказуючи на те, що сценарій цієї п'єси набагато складніший.

Чимало дослідників вважає, що такі затримки можуть спричинити газові бульбашки в магматичній камері. Геофізик Алан Лінд з Інституту Карнегі у Вашингтоні стверджує, що хвилі можуть змістити бульбашки, які зазвичай прилипають до стінок камери на кшталт бульбашок шампанського в келиху. Крім того, зазначає геофізик із Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі

Емілі Бродскі, сейсмічні хвилі можуть настільки перемішати магму, що вона утворюватиме нові бульбашки. В обох випадках бульбашки, піднімаючись, розширюються, посилюючи тиск у рідині. За словами Бродскі, бульбашки мо-



жуть розширюватися й стискатися, коли крізь них проходять сейсмічні хвилі, що також призводить до зміни тиску. Такі зміни деформують скелі, і їхня вібрація, мабуть, урухомлює скиди.

Магматичні бульбашки, очевидно, — не єдина можлива причина землетрусів. Скажімо, у Південній Греції Бродскі виявила, що гарячі джерела підігріваються не магматичною камерою, а внаслідок зміни тиску рідин, які курсують крізь розташовані нижче скелі. Твердий осад із насичених мінеральними речовинами рідин перебиває канали, якими ці рідини колись протікали. Викликані сильним землетрусом сейсмічні хвилі можуть зруйнувати ці перемички. Зміни тиску, яку спричинило відновлення циркуляції рідини, достатньо, щоб почалися землетруси на розташованих

поблизу маленьких скидах — процес, що нагадує ситуацію з гарячими джерелами Каліфорнії та Єллоустоуна.

Проте магматичні бульбашки та руйнування геотермальних перемичок не можуть бути причиною всіх вторинних землетрусів. Північну частину Центральної Юти також трясло, хоч ця територія ні вулканічною, ні геотермальною зоною не вважається. Більше того, впродовж тижня рівень сейсмічності в регіоні був підвищеним — феномен,

Слабкі землетруси відчувалися в Єллоустоуні ще кілька днів після землетрусу на скиді Деналі 3 листопада 2002 року.

який ні бульбашки, ні зруйновані перемички пояснити не можуть.

Геолог Майкл Блекпайд із Геологічної Служби США в Менло-Парку, Каліфорнія, керував вивченням землетрусу Деналі. Він говорить, що причиною поштовхів у Юті, найімовірніше, були зміни напруження, викликані сейсмічними хвилями. Однак, зазначає Блекпайд, такі різні випадки могли бути ініційовані численними процесами. Землетрус Деналі дав нам безліч даних, але він “не відповів на жодне запитання”. Мабуть, потрібно ще декілька землетрусів, щоб можна було вибудувати якусь теорію.

Наомі Любік з Пало-Альто, Каліфорнія.

Гуркіт в Єллоустоуні

Землетрус Деналі, що стався 3 листопада 2002 року на Алясці, спричинив декілька поштовхів у Долині гейзерів Єллоустоунського національного парку в штаті Вайомінг.

Долина гейзерів	Поштовхів на рік	Кількість поштовхів між 3 і 23 листопада
Верхній гейзер	1	20
Гейзер Норріса	18	20
Північне		
Єллоустонське озеро	1,2	17
Західна гора	6	27

Джерело: Стивен Г'юзен з Університету Юти.
Кількість поштовхів на рік усереднено, починаючи з 1995 року.

Після падіння

Нові ідеї для підвищення безпеки хмарочосів

Стівен Ешли

Через два роки після падіння 110-поверхових веж Світового Торгового Центру в Нью-Йорку все ще тривають дискусії про те, чи мають хмарочоси майбутнє. Після жахів, показаних по телебаченню, хто захоче жити або працювати у величезних і зручних будівлях-мішенях? “Незважаючи на трагедію 11 вересня, хмарочоси однаково будуватимуть, — стверджує Ежен Кон, директор провідної нью-йоркської архітектурної фірми “Кон Педерсен Фокс Асошіейтс”. — Імовірно, поступ у цій справі затримається приблизно на десять років, але, на мою думку, це стане лише невеликою інтерлюдією в історії висотних будинків”.

Кон зауважує, що головними причинами для будівництва хмарочосів є високі ціни на землю у великих містах, економічні потреби (особливо у Східній Азії) та... амбіції архітекторів. Сьогодні його фірма працює над проектом 100-поверхового Шанхайського Світового фінансового центру заввишки понад 1500 футів, який буде побудований до 2007 року. Після атак 11 вересня нічого не було зроблено, аби якось змінити саму конструкцію цього висотного будинку — канони будівництва в Китаї дуже консервативні.

Однак теракти змусили архітекторів та інженерів переглянути деякі будівельні ідеї. Сьогодні перевагу надають високоукріплені конструкціям, завдяки яким “пошкоджені будівлі довше стоятимуть, і більше людей зможе їх покинути”, стверджує Чарльз Торнтон, директор нью-йоркської фірми “Торнтон-Томасетті інженієрс”, яка проектувала найвищий будинок у світі — вежу Петронас в Куала-Лумпурі (1483 фути). Тепер інженери зосереджуються на блокуванні ланцюгових реакцій, викликаних такими пусковими чинниками, як бомби, зіткнення з літаками чи великі пожежі.

Конструктивна особливість сучасних хмарочосів у тому, що централь-

ний стрижень підтримує вагу самої структури, тоді як зовнішні стовпи виконують роль консольних балок, які утримують вежу від перевертання або зісковзування при ураганих вітрах чи землетрусах. Поверхи в таких конструкціях пов’язані між собою внутрішніми та зовнішніми каркасами, які охоплюють усю будівлю. Що ж до Світового Торгового Центру, конструкція якого була поширена в 1960-х роках, то зовнішній сталевий скелет був дуже міцним, але ферми каркасу підлоги — крихкими; крім того, центральний стрижень не конструювався для великих бічних навантажень. Атакувавши споруду, літаки вибили багато зовнішніх та внутрішніх опорних стовпів, істотно змістивши захисну ізоляцію металевих елементів. Але й після цього все могло б обійтися, якби не побічний вплив авіаційного пального, від якого загорілися всі легкозаймисті елементи на поверхах. “Сильний вогонь призвів до справжнього пекла, яке ми й бачили по телебаченню”, — каже Торнтон. Державне розслідування причин катастрофи дійшло аналогічних висновків.

На думку архітектора, у хмарочосах майбутнього набагато ширше використовуватимуть бетон. Посилений сталевими стрижнями, він стане основою структурних елементів будівлі, водночас ізолюючи їх від вогню. Підсилення висотного будинку збільшить вартість робіт не більш ніж на 2-3%. І хоча бетонні будівлі будуть відчутно важчими й масивнішими порівняно зі сталевими, розумний дизайн дозволить надати їм вишуканого й сучасного вигляду.

Крім того, архітектори планують реалізувати деякі нові ідеї. Поверхи будуть ізолюваними (на кшталт корабельних кают), аби зупинити поширення вогню чи падіння каркасів. Надмірні ферми, що гасять навантаження, вбудовуватимуться кожних 30 поверхів, щоб ізолювати структурні пошкодження й уникнути вільного па-

діння. Поширення вогню блокуватимуть вогнетривкі перегородки та вентиляційні системи, які загерметизують поверх зверху і знизу, ізолюючи його від жару та диму; продукти горіння, своєю чергою, можна відкачувати через вентиляційні шахти. Великі ємності води на дахах будинків амортизують хитання від раптового бічного навантаження.

Буде збільшено кількість розширених сходових кліток, захищених від проникнення диму та вогню. Конструктори розмежують пожежні сходи, тож знищення якихось одних не означатиме знищення інших. Незалежно вентилявані й посилені зони сховищ, де можна буде перечекати вогонь, розмішуватимуться через кожних 15 поверхів. Крім того, в будинках встановлять швидкісні ліфти, за допомогою яких пожежники зможуть піднятися на дах будівлі за одну хвилину.

Незважаючи на всі ці заходи, експерти наполягають на ще одній, найважливішій лінії захисту хмарочосів. Йдеться про попередження терористичних атак взагалі.

Зовнішні сталеві решітки веж-близнюків було помітно під час будівництва хмарочосів.



Уловлюючи тьмяне сонце

Голодні бактерії могли зігріти древню Землю

Сара Сімпсон

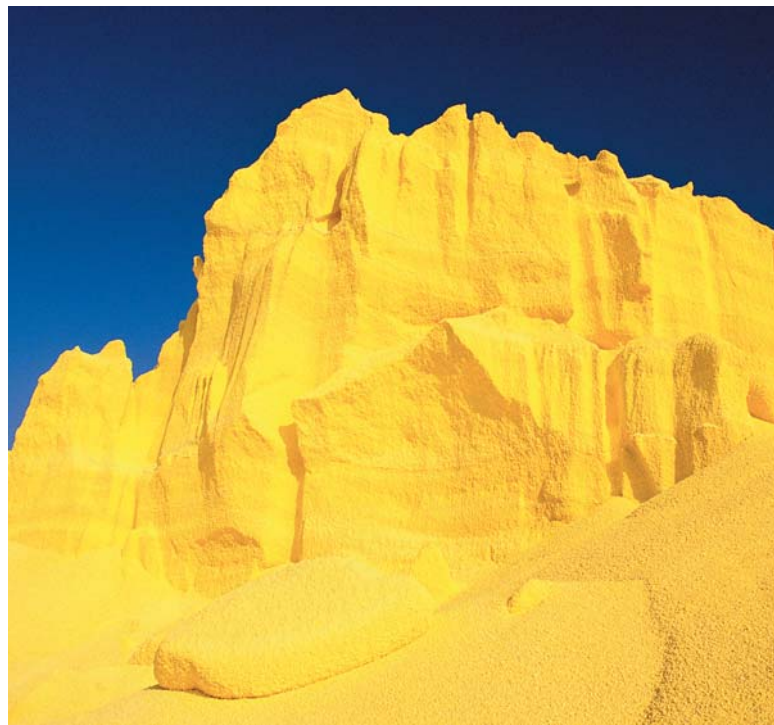
Сильний сморід тухлих яєць ніколи не зробить сірку найулюбленішою кулінарною приправою людей. Але у бактерій — інші смаки. Більше того, прогнозована перевага, яку бактерії віддають певним запахам сірки, може зберігатися, законсервована у скелях, мільярди років, розповідаючи захоплені історії про далеке минуле Землі. Саме завдяки сірці ми змогли врешті-решт зрозуміти, чому планета не замерзла, коли Сонце було набагато холоднішим.

Отже, все зводиться до того, хто що їсть. Усі живі організми дивовижно перебірливі, і сірколюбні бактерії — не виняток. Вони віддають перевагу сірці-32 (найлегший ізотоп елемента) перед сіркою-34, — якщо, звісно, у них є вибір. Нині бактерії населяють переважно “нестравний” матеріал (зазвичай у складі мінералу піриту) із залишком сірки-32, концентрація сірки в якому на 7 відсотків перевищує показник її вмісту в основному джерелі їжі цих бактерій — сірковмісних сполуках сульфатів (сьогодні сульфати поширені у морській воді). Але залишок сірки-32 у піриті, утвореному понад 2,5 мільярдів років тому, рідко перевищував один відсоток. Таке розходження наштовхнуло геохіміків на думку, що тоді (в архейську еру) сульфат був дефіцитом — відтак, менша кількість доступної їжі неабияк обмежувала особливу перебірливість любителів сірки до улюбленого ізотопу.

Справді, коли Кірстен Хабічт з Університету Південної Данії в Оденсе виростив культури трьох видів сучасних сірколюбних бактерій, скорочення надлишку сірки-32 до низького рівня архейських скель відбулося лише при зменшенні концентрації сульфатів до 200 мікромолів. А це менше, ніж один відсоток нинішнього вмісту сірки в морях.

Такий рівень сульфату свідчить про фактичну відсутність кисню в архейській атмосфері. А без кисню, який сприяє “зношуванню” континентів, сірчані мінерали залишалися законсервованими у скелях, і до них не змогли досягти голодні бактерії. Наднизький уміст сульфатів пояснює також, чому океани не замерзли, враховуючи, що Сонце було на 25 відсотків тьмянішим. Вчені довго вважали, що тоді парникові гази зігрівали Землю набагато ефективніше, ніж вони це роблять сьогодні. Вони переконані, що метан, теплоємність якого в кілька разів вища порівняно з двоокисом вуглецю, міг бути значно поширенішим у бідній на кисень атмосфері минулого. Однак джерело його постійного поповнення точно не з'ясоване.

І тут на сцену знову виходять бактерії — любителі сірки. Хабічт зі своєю командою підрахував, що архейські бактерії на сірчаній дієті здійснювали б свою щоденну роботу (розклад залишків інших організмів) на 30-90 відсотків повільніше, ніж бактерії, що поїдають сучасні дози сульфату. Відтак, залишалася чимало недоїдок для інших го-



НАДМІР СІРКИ забезпечує процвітання бактерій у наш час, але її дефіцит у прадавніх океанах змушував мікробів “затягувати паски”. Зображена на фото гора у Вільмінгтоні, Каліфорнія, — це гірничий відвал очищеної сірки.

лодних мікроорганізмів — метаногенів. Інтенсивне розмноження цих природних фабрик метану могло спричинити сильний парниковий ефект.

Юв Вічерт із Геологічного центру в Цюриху стверджує, що підрахунки команди Хабічта — це перше науково реалістичне припущення щодо ролі метаногенів як джерела постачання парникових газів. Але для остаточного визнання цього факту слід отримати незалежне підтвердження поведінки метану в архейській атмосфері. Дуже схожа атмосфера сьогодні на Титані — оточеному метаном супутнику Сатурна. У 2005 році на Титан вирушає нова експедиція NASA. Таким чином, не дуже приємна на запах сірка, без сумніву, розкриє чимало солодких таємниць. **РБ**

Розповідь самоцвіту

Хто б міг подумати, що дорога жіноча цяцька може прошепотіти стільки дивовижних історій про стародавню планету, яка задихалася від нестачі кисню? Джеймс Фарквухар з Університету штату Меріленд нещодавно виявив малесенькі вкраплення сульфідів заліза з унікальним співвідношенням ізотопів сірки в африканських діамантах. Таке співвідношення виникає внаслідок руйнування Сонцем багатих на сірку атмосферних газів. Раніше вчений уже довів, що такий атмосферний розпад драматично уповільнюється після появи в атмосфері кисню, який веде до утворення потужного фільтру для сонячного випромінювання — озонового шару. Це діамантове відкриття — яскраве свідчення того, що унікальний сірчаний підпис, мігруючи з атмосфери в мантію Землі, де утворюються діаманти, і назад на поверхню, може переконливо оповідати про таємниці минулого.

Планетний захист

Експерименти з рентгенівськими променями підказують новий спосіб відхилення астероїдів

Стив Надіс

Джон Ремо має скромну мету — він хотів би врятувати планету. На відміну від багатьох гарячкватих диваків, які начиталися фантастики, Ремо — розважливий фізик, який працює в Гарвард-Смітсонівському Центрі Астрофізики, і його дослідження колись справді всіх нас порятовують. У середині 1990-х років разом із колегами з Національних лабораторій в Сандіа він провів перші експерименти, метою яких було вивчення передачі імпульсу від поверхневого вибуху, спричиненого потужним опроміненням уламка метеорита. Маючи доступ до Z-апарату в Сандіа — найпотужнішого в світі генератора рентгенівських променів, — Ремо та його група зосередили свої зусилля на дослідженні способів відвернення можливого зіткнення із Землею астероїда або комети.

Велике зіткнення з навколоземним об'єктом (НЗО) — питання часу. Візьмімо, для прикладу, астероїд 2002 MN. У червні 2002 року кам'яна брила завширшки 100 метрів наблизилася на відстань 120 тисяч кілометрів до нашої планети. “Це майже критична межа, за якою людство вже не може почуватися спокійно”, — застерігає Ремо. Його стурбованість цілком зрозуміла, особливо, зважаючи на те, що 2002 MN був відкритий лише через три дні після того, як він пролетів повз Землю. Ще тривожніші попередні повідомлення про астероїд NT7. Цей двокілометровий (у поперечнику) камінь має пролетіти неподалік від Землі в 2019 році. Якби він зіткнувся з нашою планетою, це призвело б до гло-



СИЛЬНИЙ УДАР: 25-метровий метеорит утворив кратер діаметром 1,2 кілометра (Арізона).

бальних руйнувань (останні розрахунки показують, що він оминє Землю).

Вчені почали розглядати варіанти пом'якшення або відхилення НЗО ще десять років тому, але дослідження гальмувалися через брак даних. Коли в 1992 році Ремо приєднався до групи дослідників Лос-Аламоської лабораторії, які вивчали можливості відхилення астероїдів, він першим звернув увагу на властивості та склад НЗО, які важливо знати, щоб передбачити, як вони реагуватимуть на імпульс.

Фізик Брюс Ремінгтон із Національної лабораторії Лоуренс Лівермор вважає, що такі дослідження слід було провести давно. Незважаючи на багаторічні дебати, реакція на імпульс залишалася “абстрактною ідеєю”, стверджує Ре-

БІОЛОГІЯ

Відновлюючи серце

Інтенсивне рубцювання не дозволяє людському серцю самовідновлюватися, проте звичайнісінький мешканець наших акваріумів допоміг розкрити цю таємницю. Дослідники з Медичного інституту Говарда Гаджа Кеннет Посс, Ліндсей Вілсон та Марк Кейтінг виявили, що смугастий даніо може природним шляхом відновлювати своє серце. Через два місяці після хірургічного видалення 20 відсотків серця дорослої риби цей життєво важливий орган повністю відновив свій природний розмір і нормально скорочувався. Під мікроскопом учені побачили, як рану спочатку вкрила рубцева тканина, але згодом до процесу загоєння підключилися проліферуючі м'язові клітини. Подальші дослідження генів цієї рибки (чимало з них є і в людини) можуть привести до розробки стратегій безрубцевого відновлення людського серця. Робота вчених опублікована в журналі *Science*.

РБ

Сара Сімпсон



ШВИДКЕ ОДУЖАННЯ: смугастий даніо може самотужки полагодити своє ушкоджене серце. На вставці показана ДНК (зелена), яка сигналізує про успішне відновлення м'язових клітин (червоні).

мінгтон. “І тільки тепер, — продовжує вчений, — ми почали отримувати реальні дані, що можуть допомогти нам розрахувати кількість енергії, потрібної для відхилення загрозового об’єкта”. Він додає, що проблема надто складна, аби її можна було вирішити без попереднього експериментального вивчення.

Ключовий параметр — “коефіцієнт передачі імпульсу” (міра ефективності перетворення енергії опромінення в кінетичну енергію). Високоінтенсивні імпульси рентгенівських променів, які виробляє Z-апарат, опромінюють ціль, призводячи до випаровування поверхневого шару зі створенням реактивної плазми, яка відстрілюється назад. (На сьогодні випробувано 6 складів речовин різних типів метеоритів). Ударна хвиля, що утворюється внаслідок дії закону збереження кількості руху, відштовхує метеорит у протилежному напрямку. Разом з Майклом Фернішом із Сандіа Ремо розраховував швидкість цих частинок, вимірюючи доплерівське зміщення відбитого лазерного світла.

Оскільки рентгенівські промені щедро виділяються в результаті ядерного вибуху, експерименти із Z-апаратом покликані змоделювати ядерний вибух поблизу загрозового НЗО, щоб відхилити його на безпечну траєкторію. За результатами розрахунків коефіцієнту передачі імпульсу, Ремо передбачає, що вибухи середньої потужності можуть бути вельми ефективними. Скажімо, заряд потужністю 25 кілотонн може відхилити об’єкт діаметром один кілометр із небезпечного шляху — за умови, що ми знатимемо про наближення загрози за декілька десятків років. Якщо часу для підготовки ще більше або ж об’єкт не надто великий, то реальнішими стають неядерні методи захисту.

Проте з’являється інша серйозна проблема — збільшення кількості уламків розміром від декількох сантиметрів до стометрових брил. Поза тим, коефіцієнти передачі імпульсу можна виміряти точніше ще в лабораторних умовах, зауважує Ферніш, адже рентгенівські промені взаємодіють із речовиною на мікроскопічному рівні, а отже теорія взаємодії цих променів справджується як для астероїдів величезних розмірів, так і для мікрометеоритів. Головна ж невизначеність полягає в тому, що ми не знаємо, чи ці астероїди — тверді об’єкти, чи скупчення каменів. “Якщо це купа каменів, то частину з них можна відхилити у потрібному напрямку, а частина може полетіти зовсім не туди, куди слід”, — застерігає Ферніш.

Ремо вже розробляє експерименти для дослідження такої можливості, а також планує випробування Z-апарату з різними метеоритними і кометними матеріалами. Закінчивши з цим, він має намір зайнятися фізичними та інженерними аспектами відвернення загрози з боку НЗО. Словом, замість лякати людей передбаченнями швидкої погибелі, Ремо воліє показати, як цьому можна зарадити. ЮД

Готівкою

Досліджуючи навколосемні об’єкти, Джон Ремо повністю покладався на кошти, які надала йому компанія з виробництва лазерного обладнання Quantum Resonance. “Ідея використання лазерів і Z-апаратів для ударів по метеоритах настільки нова, що розраховувати на якісь гранти не було сенсу, оскільки робота не підпадає під жодну з чинних дослідницьких категорій, — пояснює Ремо. — Якби я очікував на фінансування, роботу довелося б відкласти на багато років”.

АНТРОПОЛОГІЯ

Писемне причандалля олмеків

Нещодавно виявлені релікти — фрагменти тарілки та клеймо — містять інтригуючі письмена, які можуть бути залишками першої писемності в Новому світі. Предмети, знайдені на північному узбережжі Мексиканської затоки в Табаско, Мексика, належать племені олмеків і датуються 650 роком до н. е. На циліндричному клеймі зображений птах, в якого із дзьоба вилітають якісь символи. Цілком можливо, що ці гліфи були призначені для читання. Вчені вважають, що птах говорить: “Король 3 Аяв”. (Олмеки використовували гліф “3 Аяв” для позначення як священного дня із 260-денного календаря, коли народився ко-



роль). На думку дослідників, ці письмена випереджають інші середньоамериканські писемні спадки (серед яких і релікти майя) принаймні на 250 років. Однак деякі антропологи припускають, що символи — це лише малюнки, а не відтворення мови. Детально знахідка описана у журналі *Science*. РБ

Філін Ям



ПИСЬМОВИЙ ДОКАЗ: на клеймі олмеків — птах, який, очевидно, промовляє “Король 3 Аяв”.

ОБЛИЧЧЯ ЛЮДСТВА

РЕАЛЬНІСТЬ РАС

Відмінностей між ДНК представників різних рас немає. Однак це не означає, переконаний соціолог Трой Дастер, що дослідження в галузі геноміки повинні оминати це питання

Саллі Лерман

“**Р**ас немає!” — звучить як заклинання. ДНК людей з різною комплекцією та типом волосся схожі на 99,9 відсотків, тож поняття раси неактуальне для науки. П'ять років тому всі генетики одноставно кивали головами під час свого з'їзду в Національному інституті досліджень людського геному (НІДЛГ). Таку реакцію спричинила стаття одного судмедексперта, яку оприлюднив соціолог Трой Дастер. У статті стверджувалося, що криміналісти можуть встановити належність підозрюваного до європейської, афроазіатської чи азіатської раси, просто

аналізуючи три профілі ДНК.

“Це було жахливо!” — пригадує Френсіс Коллінз, директор інституту. Він нічого не знав про послідовності ДНК, які визначають расу, тож його просто шокувало, що цю інформацію можна використовувати для розслідування злочинів.

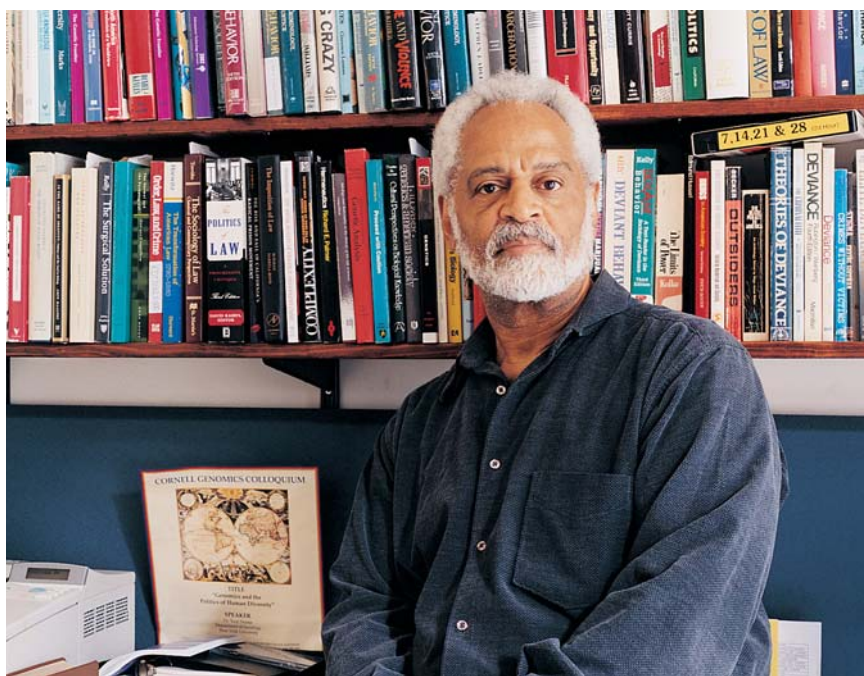
Значною мірою саме завдяки Дастеру Коллінз та інші генетики почали вивчати судмедекспертні, епідеміологічні та фармакогенетичні дані, які породили питання про раси на рівні ДНК. Тепер НІДЛГ планово наймає експертів із соціальних дисциплін, які повинні допомогти визначити дослідні

пріоритети та подавати їх результати широкому загалові. “Складність досліджень послідовностей ДНК вимагає не голих тверджень про подібності між групами, а повного розуміння історії, антропології, соціальних наук та політики, — стверджує Коллінз. — Дастер належить до людей, які регулярно звертаються до нас за допомогою”.

Ввічливий 66-річний Дастер, змінивши декілька посад у Каліфорнійському університеті в Берклі та Університеті Нью-Йорка, досліджує особливості включення суспільством новин із галузі генетики у свої вірування. Крім того, він намагається з'ясувати, як таке сприйняття впливає на використання генетичного секвенування, проб ДНК та інших молекулярних методів.

Ці методи показали, що на молекулярному рівні раси практично ідентичні. Генетичні відмінності між будь-якими двома випадковими представниками однієї соціально відособленої популяції на 85 відсотків перекривають відмінності між людьми з різних популяцій. Водночас, генетичні відмінності між двома особами однієї раси можуть бути більшими, ніж між представниками різних рас — цукор може виглядати як кухонна сіль, але він ближчий за смаком до кукурудзяного сиропу.

Втім, пояснює Дастер, генетики не можуть довести і те, що рас не існує. Жодні аргументи не викориняють з масової свідомості це поняття, а отже й нерівність, яку воно породжує, адже люди використовують расовий підхід для розділення соціальних угруповань і визначення власних соціальних та економічних взаємодій. Нещодавно Дастер допоміг накидати 15-сторінковий звіт Американської соціологічної асоціації, який доводить, що расові ознаки все ще є факторами нерівності у сфері охорони здоров'я та в деяких інших ділянках життя. “Ви не зможете просто позбутися цього поняття, не завдавши величезної шкоди вже проведеним епідеміологічним дослідженням, — переконує Дастін. — Наприклад, у афроамериканців утричі вищий ризик померти від серцевого нападу. Через расові переконання банки від-



ТРОЙ ДАСТЕР: РОЗМІРКОЮЧИ ПРО ГЕНИ

- Онук Іда Веллс-Барнетта, видавця газет, учасника “хрестових походів” на лінчування.
- “Король своєї справи”, — стверджує Гаррі Левін з Королівського коледжу Університету Нью-Йорка. Як дисциплінований музикант, Дастер (шанувальник джазу, до речі) поєднує у своїй роботі серйозний підхід, віртуозні навички, грацію, врівноваженість та розважливу жартівливість.
- Зараз переймається тим, що “майже неминуче створення алгоритмів досліджень, які знаходять розподіли частотних алелей, а згодом розроблять комп'ютерні профілі злочинців різних типів”.

мовляють чорному в позиції; їхній приклад підхоплюють служби безпеки супермаркетів та поліція. Це призводить до підвищення тиску. А відтак — до серцевого нападу”.

Новий підхід у виділенні кластерів генів не зважає на расові ознаки, використовуючи розподіл відповідно до медично важливих маркерів, зокрема генів ферментів, що перетворюють медичні препарати. Однак, передбачає вчений, суспільство, найімовірніше, відтворить расові категорії та розподіл під новими іменами. Якщо не вдасться врахувати соціальний контекст, згадана стратегія надасть неналежного акценту різниці пар основ за рахунок впливу умов середовища. Дастер зауважує й попереджає, що сама наука є соціальним інститутом, надзвичайно чутливим до суті сприйняття раси.

Дастер народився під час Великої депресії й виростав у бідності. Батько помер, коли хлопцеві було дев'ять років. Його виховувала мати, представниця вищих суспільних класів. Той то щосили байдкував на бандитських вулицях Чикаго, то сповна користав зі своїх інтелектуальних та громадянських привілеїв. На власному досвіді пізнав усі складнощі соціальних категорій та навчився переходити з однієї в іншу. Саме так він сьогодні маневрує між соціологією, антропологією та генетикою.

Дастер розпочав як журналіст, відмовившись брати інтерв'ю у машиніста підземки, який чекав на ампутацію ноги після нещасного випадку.

Той зайнявся соціологією в Берклі у 1967 році, швидко здобувши хорошу репутацію своєю сміливою роботою про наркотики та соціальну політику. У 1970-х роках голос Дастера можна було почути в комітетах Національного інституту здоров'я під час розгляду пропозицій про надання наукових грантів на дослідження психічного здоров'я та зловживання наркотиками. Входячи до складу Комісії з питань психічного здоров'я при президенті Картері, він уперше ознайомився з припущеннями вчених про зв'язок психічного здоров'я і зловживання наркотиками людьми з генетичною сприйнятливістю.

Дастера стривожили такі розмови. Його книга “Потаємний хід до євгеніки” мала на меті стимулювати суспільні дебати, демонструючи, як політика генетичного скринінгу намагається зміцнити вже сформовані в суспільстві владні структури. Саме тоді він змусив генетиків та молекулярних біологів зважати на соціальне значення, яке несуть неупереджені, на їхню думку, факти.

Спочатку вчені опиралися. Як член Робочої групи з етичних, правових та соціальних питань, яка консультувала агенції з досліджень людського геному, Дастер запропонував Національному інституту здоров'я та Міністерству енергетики спростувати його працю “Крива нормального розподілу” (до речі, бестселер 1994 року), яка доводила, що расові чинники корелюють з освіченістю. Урядовці обмірковували відповідь вісім місяців, будучи

переконаними, що расова однорідність на рівні геному говорить сама за себе.

Разом із Дороті Нелкін з Університету Нью-Йорка Дастер визначив способи, за допомогою яких культурний контекст впливає на використання медичної та поведінкової генетики. Тепер Коллінз покладається на Дастера та інших учасників проекту (зокрема — молекулярного біолога Пілара Оссоріо з Університету штату Вісконсин) для обґрунтування необхідності визнавати раси, навіть якщо вони не мають важливого значення з погляду біології. “Це прогулянка по лезу ножа між намаганням урятувати важливість та значущість досліджень рас, не надавши їм при цьому хибного значення,” — зізнається Дастер.

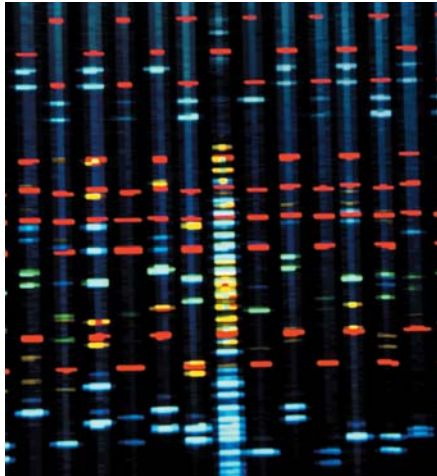
І хоча Дастер визнає значення рас для генетики, він вважає помилковим повторно описувати расу як визначену систему групи людей зі спільним походженням, а отже й певними спільними генами. Наприклад, поняття рас змінюється як географічно, так і історично. Зокрема, упродовж минулого сторіччя етнічний статус південноазіатів у Сполучених Штатах змінився кардинально; дедалі частіше ним послуговуються для визначення відмінностей політичного та культурного характеру, а не біологічного. У 1920 році, під час заборони еміграції з Індії, Орегон подарував американське громадянство індійцю Бхагату Сінгу Зінду. Але Верховний суд США не пристав на це, стверджуючи, що, хоч Зінда і слід вважати “представником

кавказької раси”, він усе ж не “білий”. (Зінд, вступивши до лав американської армії під час Першої світової війни, отримав дозвіл залишитися в країні, здобув ступінь доктора філософії й опублікував 15 книжок з метафізики).

Дослідники підтримали методику оцінки ризику для здоров'я в межах етнічних груп на основі змін лише в одній парі основ ДНК. Але Дастін попереджує, що такі профілі одонуклеотидного поліморфізму можуть вводити в оману. Етнічні відмінності у метаболізмі лікарських препаратів чи відповіді на тютюн справді існують, але вони мінімальні й дуже залежать від оточення. Він підкреслює, що акцент на ДНК перетворює стан здоров'я людини на біологічну неминучість, хоча привабливим залишається використання цих же підходів для встановлення злочинних нахилів та інтелекту на рівні геному.

Мінливість ДНК може залежати від родового географічного походження, але ці відмінності дуже рідко допомагають розв'язати справді важливу медичну проблему. Вони неспроможні впливати на певні істотні ознаки всієї групи. Дастін стверджує, що самі по собі раси — доволі розмиті поняття, це частина геному в контексті навколишнього середовища. “Раси — це залежність. Тож говорячи про раси, як про залежність, ви забезпечуєте таким чином правильне розуміння їх іншими людьми”.

Саллі Лерман працює журналістом у галузі медичної технології в Сан-Франциско.



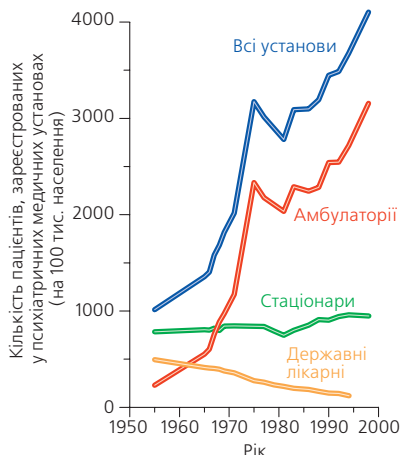
ПРОФІЛІ ДНК актуалізують питання про раси, на яке соціологи зобов'язані дати відповідь.

Відмова від лікарень

Чому ї досі послуговуються неефективною методикою?

Роджер Дойл

П'ятдесят років тому психічно хворі люди мали дві альтернативи: для багатих — психотерапія, а для решти — державні психіатричні лікарні зі стійкою репутацією поганого ставлення до хворих. Сучасна система охорони психічного здоров'я пропонує ширший діапазон послуг для важкохворих — зокрема амбулаторну медичну допомогу, допомогу в улаштуванні життя, працевлаштування та соціальну підтримку. Крім того, вона зарадить і тим, у кого проблем із психікою менше. Що ж до безальтернативних колись державних лікарень для душевнохворих, то тепер вони відіграють другорядну роль.



Хвиля відмов від перебування в лікарнях піднялася у 1950-х роках, коли психіатри повірили, що душевнохворі почуватимуться набагато краще у ролі “вільних” пацієнтів — живучи зі своїми родичами й займаючись улюбленими справами. Цей погляд утвердився в середині 1950-х років — із появою антипсихотичних ліків, які збільшили можливості пацієнта жити і працювати за межами психіатричних лікарень. Із запровадженням у середині 60-х років державного фінансування центрів охорони здоров'я та початком державної про-

грами безплатної медичної допомоги, штати не знехтували нагодою перекласти на федеральний уряд витрати на охорону психічного здоров'я. Почалося переведення пацієнтів з психіатричних лікарень у центри охорони здоров'я та інші заклади. Кількість приватних госпіталів для душевнохворих та стаціонарів загальних госпіталів збільшувалася, але найдраматичніше зростання, як показує діаграма, відбувалося у сфері амбулаторної допомоги.

Озираючись назад, уже не дивуєшся, чому відмова від лікарень була таким дразливим питанням. Справа в тому, що рішення про відмову переважно базувалися на неперевіреніх теоріях реабілітації; крім того, поза лікарнею психічно хворими майже не опікувалися. Одним із наслідків стало те, що третина (за іншими даними — половина) бездомних дорослих — це особи із серйозними психічними розладами. Окрім того, близько 280 000 людей із важкими формами розладів психіки перебувають у в'язницях, де про психіатричну допомогу можна лише мріяти. Ще одна тема — якість догляду за 400 000 душевнохворих у будинках для престарілих, адже лікування у цих установах ідеальним не назвеш (за умови, що таке взагалі є). Врешті, велика кількість психічно стурбованих взагалі уникає контактів із системою охорони здоров'я, надто мало знаючи про можливості лікування або ж боячись отримати клеймо “психа”.

Незважаючи на ці вади, більшість людей із психічними хворобами живуть сьогодні краще, ніж до відмови від лікарняного догляду. Кілька досліджень показали, що близько двох третин людей із важкими психічними розладами можуть жити поза лікарнями за умов надання всебічної допомоги — зокрема соціальної підтримки. Але найкрасномовнішим доказом ефективності сучасних систем є їх підтримка самими пацієнтами, які у переважній

більшості хочуть жити в суспільстві, а не скітати у психлікарнях. Проблема полягає в тому, стверджує Девід Механік з Інституту здоров'я та проблем старіння Рутгерського Університету, що психіатричне лікування часто призначають навмання. На його думку, майбутнє охорони психічного здоров'я у Сполучених Штатах — у досягненні соціального характеру, поза сферою діяльності психіатричних служб. Тож подальші зміни в системі охорони здоров'я остаточно “узаконять” ті засоби, які вже довели свою ефективність.

Роджеру Дойлу можна писати на адресу rdoyle2adelphia.net

Де кілька фактів: основні хвороби

Серед дорослих людей віком від 18 до 54 років:

- 21% мають психічні розлади;
- 5,4% страждають від важких психічних розладів (не спричинених зловживанням хімічними сполуками), що тривають рік чи більше;
- 2,6% мають важкі та стійкі психічні розлади (або цілу низку важких розладів).

Рекомендована література

■ Mental Health: A Report of the Surgeon General. U.S. Public Health Service, 1999 (www.nimh.nih.gov/).

■ Mental Health, United States, 2000 (www.mentalhealth.org/publications/allpubs/SMA01-3537/default.asp). See the articles by Gerald N. Grob, by David Mechanic, and by Ronald W. Manderscheid et al.

ДЖЕРЕЛО для графіка: National Mental Health Information Center, U.S. Department of Health and Human Services. Patient care episodes provide an estimate of the number of persons under care throughout the year. State mental hospital episodes are included in inpatient facilities episodes. Comparable data on psychiatric patients in nursing homes are not included.

Гарячий час Айнштайна



ВИДАТНІ ТЕОРЕТИКИ ЗНАЮТЬ, ЩО ГІПОТЕЗУ ТРЕБА ПІДТВЕРДЖУВАТИ ДОСЛІДОМ

Стив Мірські

Одне відоме висловлювання Альберта Айнштайна, яскравого представника неперевершеної плеяди дослідників часу, подає принцип відносності в доступнішому для пересічної людини трактуванні: “Коли чоловік сидить біля чарівної дівчини, година здається йому хвилиною. Але посадіть його на хвилину на гарячу піч, і цей час видасться йому довшим, ніж будь-яка година. Оце й є відносність”.

Втім, несподівано виявилось, що слова про чарівну дівчину і гарячу піч — не просто дотепне розмірковування. Порпаючись серед книжок на надзвичайно заповнених полицях місцевої бібліотеки, я натрапив на оригінал цього твердження. Дивовижно, але цитата про чарівну дівчину та гарячу плиту насправді є абстрактом короткої статті, написаної Айнштайном для нині неіснуючого *Journal of Exothermic Science and Technology* (JEST, Vol. 1, No. 9; 1938). Виявляється, визначний теоретик справді приклав руку (інші частини тіла — також) до експериментального отримання простого пояснення відносності. Ось ця стаття.

“Про вплив зовнішніх сенсорних входів на розширення часу”. А. Айнштайн, Інститут Новітніх Досліджень, Принстон, штат Нью-Йорк.

Абстракт: Коли чоловік сидить біля чарівної дівчини, година здається йому хвилиною. Але посадіть його на хвилину на гарячу піч, і цей час видасться йому довшим, ніж будь-яка година. Оце й є відносність.

Оскільки позиція спостерігача вкрай важлива для сприйняття ним плину часу, його душевний стан може бути додатковим фактором цього сприйняття. Отже, я намагався дослідити зриму течію часу за двох окремих проявів душевного стану.

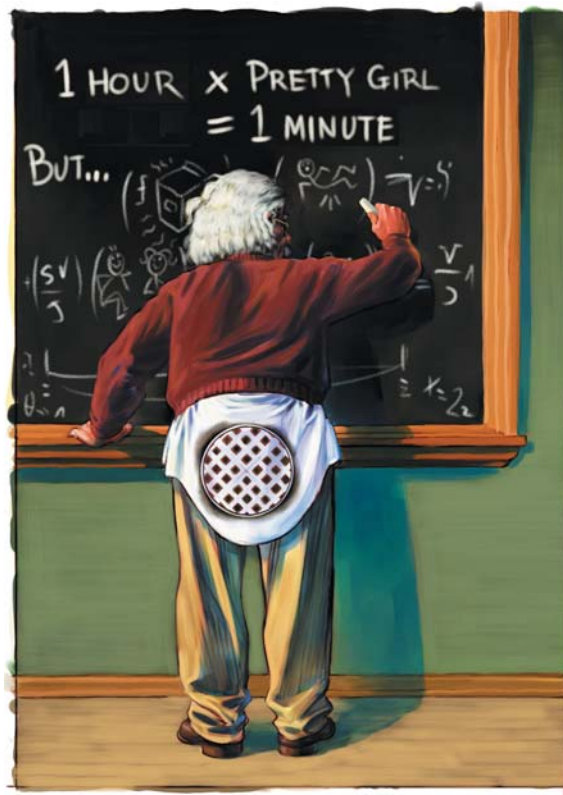
Методи: Мені були потрібні гаряча піч і чарівна дівчина. На жаль, знайти гарячу піч виявилось неможливим, оскільки жінка, яка для мене куварила, заборонила мені з'явитися поблизу кухні. Щоправда, я зумів таємно роздобути

хромовану вафельницю фірми *Manning-Bowman and Co* 1924 року виробництва, яка в цьому досліді є розумним еквівалентом гарячої печі, позаяк може розігріватися до дуже високої температури. Знайти чарівну дівчину виявилось так само складно, оскільки зараз я мешкаю в Нью-Джерсі. Я знайомий з Чарлі Чапліном, відвідував разом з ним прем'єру його стрічки “Вогні Міста” (1931), тому домігся зустрічі з його дружиною, кіноакторкою Полетт Годдард — власницею першокласного чарівного обличчя.

Результати та обговорення: Я сів на потяг до Нью-Йорка, щоб зустрітися з місс Годдард в устричному барі Великого Центрального Вокзалу. Вона сяяла і виглядала просто чарівно. Коли мені здалося, що вже минула хвилинка, я подивився на годинник і виявив, що насправді минуло цілих 57 хвилин, які я округлив до години. Повернувшись додому, я увімкнув вафельницю і дозволив їй нагрітися. Після чого сів на неї, маючи на собі штани й розправлену довгу білу сорочку. Коли мені здалося, що проминула година, я підвівся й перевіряв за годинником, що не минула й секунда. Щоб зберегти однотипність одиниць для опису обох обставин, я заокруглив отримане значення до однієї хвилини, а потім викликав лікаря.

Висновок: Душевний стан спостерігача відіграє життєво важливу роль у сприйнятті ним часу”.

Хоч учні Айнштайна з цим і не погоджуються, досліді з чарівною дівчиною та гарячою піччю могли закінчитися й таким лаконічним висловом: “Якби ми знали, що саме робимо, це вже не було б дослідженням, чи не так?”. Крім того, Айнштайн був трохи дотепником. Оцініть його пояснення радіозв'язку: “Бездротовий телеграф неважко зрозуміти. Звичайний телеграф подібний до дуже довгого кота. Ви тягнете його за хвіст у Нью-Йорку, і він нявкає у Лос-Анджелесі. Радіо — це те саме, але без кота”. Ця цитата, кажуть, не давала Шредінгеру спокійно спати.





Дійсний час

Темп життя невпинно зростає, але повне розуміння часових понять нам ще недоступне

Гарі Стікс

Понад 200 років тому Бенджамін Франклін порівняв години й хвилини з витраченими фунтами й шилінгами. Сьогодні ці слова набули свого реального змісту. У XXI сторіччі час став не меншою цінністю, ніж пальне чи дорогоцінні метали. Цей життєво важливий ресурс, що його невтомно вимірюють та оцінюють, продовжує стимулювати економіку, побудовану з урахуванням терабайтів та гігабітів за секунду.

Англійський професор економіки Ян Вокер із Ворікського університету найадекватніше висловив дух часу в новому тисячолітті, надавши афоризмові Франкліна кількісного звучання. Він вивів формулу, за якою трихвилинне чищення зубів еквівалентне 45 центам прибутку (з урахуванням державного податку та відрахуваннями на соціальне забезпечення). Саме стільки витрачає середньостатистичний британець, займаючись хатніми справами. Півгодинне миття власного автомобіля оцінюється в \$4,5.

Втім, буквально переведення часу у грошовий еквівалент здатне звести висловлювання Франкліна до безглуздої крайності. Загалом різнобій у трактуваннях афоризмів цілком природний, оскільки відображає радикальні зміни наших поглядів на перебіг подій. Основні ж чинники, які визначають поведінку людини, не зазнали жодних змін від часів палеоліту: бажання харчуватися, розмножуватися, нападати чи захищатися й надалі є основою нашої життєдіяльності. Однак, незважаючи на показну непорушність своїх первинних потягів, людство переживає нові потрясіння. Ймовірно, найважливішим стає те, як ми ставимося до тієї чи іншої події або історичного факту.

Одне із визначень проголошує, що час — це континуум, в якому події змінюють одна одну в напрямку від минулого до майбутнього. Сьогодні кількість подій, що відбуваються за визначений інтервал часу (байдуже — рік чи наносекунду), постійно збільшується. Під сучасну пору використання нових технологій набуло глобального характеру і перетворилося у світове змагання. Поняття “більше” часто-густо стає еквівалентом “краще”. У своїй книзі “Швидше: тотальне прискорення” Джеймс Глейк зауважив, що з появою у 80-х роках XX сторіччя служб доставки клієнти отримали небачену перевагу: їм приносили пошту протягом доби. “Коли ж усі сприйняли як належне пересилання кореспонденції протягом однієї ночі, рівність була відновлена, — пише Глейк, — світ просто звик до нових швидкостей”.

Одночасність

Інтернет позбавив нас радостей очікування “прибуття експресу”. У світовій мережі все відбувається одночасно: користувачі в Нью-Йорку чи Дакарі є свідками оновлення веб-сторінки в один і той самий момент часу. По суті, час переміг простір. Швейцарська годинникова фірма Swatch, відгукуючись на поклик доби, вирішила зруйнувати часові кордони планети. Для зручності користування Інтернетом було розроблено хронометричний стандарт, що скасовував часові пояси й ділив добу на 1000 прирощувань, однакових у будь-якій точці земної кулі. Всі вони співвідносяться з меридіаном швейцарського міста Біль, де розміщена штабквартира Swatch.

Цифровий інтернет-годинник продовжує відраховувати свої удари в нетрях мережі та в корпоративному будинку Swatch у Білі. І все ж прирощування не стали світовим стандартом часу, як есперанто не стало міжнародною мовою.

Звичай відстежувати час з'явився понад 20 тисяч років тому, коли первісні мисливці почали робити зарубки на паличках і кістках, позначаючи у такий спосіб дні між змінами фаз Місяця. І лише близько 5 тисяч років тому вавилоняни та єгиптяни винайшли календар.

Давні хронотехнологи не гналися за точністю. Вони орієнтувалися на природні цикли: сонячний день, новий місяць, сонячний рік. Сонячний годинник міг лише відкидати тінь, перетворюючись у непотрібну прикрасу вночі або за поганої погоди. Проте механічний годинник, що з'явився у XIII сторіччі, спричинив не меншу революцію, ніж друкарський верстат Гутенберга. Час більше не точився, як у водяному годиннику. Тепер він підпорядковувався механізму, що рахував коливання маятника. Удосконалений багатьма поколіннями майстрів, цей пристрій дозволив вимірювати час із точністю до часток секунди. Врешті-решт використання механіки дозволило зменшити розміри годинника. Щойно важкі гирі замінила спіральна пружина — з'явилася можливість носити годинник у кишені чи вдягати його як прикрасу. Годинникові технології змінили наші уявлення про організацію суспільства, дозволивши людині координувати свої дії з іншими людьми. “Пунктуальність приходить зсередини, а не ззовні, — пише історик із Гарвардського університету Девід Лендс у своїй книзі “Революція часу: годинники і створення сучасного світу”. — Механічні годинники породили цивілізацію, яка дорожить часом, що, безумовно, привело до підвищення продуктивності праці”.

Впродовж кількох сторіч механічні годинники вважали еталоном точності. За останні п'ятдесят років людство досягло небувалого прогресу в її підвищенні [див. статтю Вільяма Дж. Ендрюса “Годинниковий літопис”]. Не лише Інтернет дозволив часові здобути перемогу над простором. Час вимірюється точніше за будь-яку іншу фізичну величину, і саме тому йому випала честь визначати одиниці просторових вимірів. Нинішній стандарт трактує довжину шанованого метра як відстань, яку проходить світло у вакуумі за $1/299\,792\,458$ секунди.

Для таких вимірювань застосовують атомні годинники. Деякі з них використовують винятково стабільну резонансну частоту атомів цезію, що забезпечує практично наносекундну точність. Супутники Глобальної системи позиціонування (GPS) безперервно передають точну інформацію про своє положення, орієнтуючись на покази бортових атомних годинників. Приймальний пристрій обробляє інформацію щонайменше від чотирьох супутників, повідомляючи пілотові чи мандрівникові його земні координати. Вимоги до точності надзвичайні: помилка в одну мільйонну частку секунди на борту одного із супутників збільшить похибку виданих GPS-приймачем координат до 250 метрів (якщо її не відкоригують за допомогою інформації з інших супутників).

Незабаром слід очікувати нових досягнень у точному вимірюванні часу. Невдовзі винахідники хронометрів ство-

рять настільки точні атомні годинники, що інші навряд чи зможуть працювати з ними синхронно [див. статтю Вейта Гіббса “Найточніші годинники”]. У наукових дослідженнях вчені встановлюють рекорди у мистецтві точного поділу секунди на найдрібніші інтервали. Прагнення до збільшення швидкості стало нав’язливою ідеєю інформаційної ери. Лабораторні екземпляри транзисторів здатні перемикатися швидше, ніж за пікосекунду — одну тисячну від однієї мільярдної частки останньої [див. статтю Деvida Лабрадора “Від миттєвого до вічного”].

Французькі й голландські вчені створили лазер, що випромінює світлові імпульси тривалістю 250 аттосекунд, тобто 250 мільярдних від однієї мільярдної частки секунди. Можливо, колись такий стробоскоп буде вбудовано в кінокамеру для зйомки руху окремих електронів. Новітні методи датування подій, ґрунтовані на явищі радіоактивності, допомагають ученим з’ясувати справжній вік Землі. Ми легко долаємо простір і час, входячи в Інтернет чи керуючи літаком за допомогою GPS. Ще доведеться з’ясувати, яка межа швидкості. Мандрівки в минуле чи майбутнє — улюблена тема наукових конференцій та популярної літератури [див. статтю Пола Дейвіса “Як створити машину часу”]. Однак всупереч відвазі годинникарів ні фізики, ні філософи так і не з’ясували остаточно, що ж ми маємо на увазі, кажучи: “Час біжить”.

Складність природи часу — потрібної загадки минулого, теперішнього і майбутнього — принижує наскрізь багатовікову індустріальну еру людства. Про це писав блаженний Августин у своїй “Сповіді”: “Що ж таке час? Коли ніхто не питає мене, я знаю; якщо ж я намагаюся відповісти, то гублюся у здогадах”. Далі він намагається пояснити, чому так важко дати визначення часові: “Як можуть існувати два типи часу — минуле і майбутнє, — коли першого вже немає, а другого — ще немає?”

Безпристрасні й не обтяжені релігійними упередженнями фізики чимало натерпілися, зіткнувшись із цим питанням. Наближаючись до свого неминучого кінця, ми помічаємо, що час “летить”. Що це означає? Можна, звісно, придумати одиницю виміру для часового потоку — на зразок сили електричного струму. Але цілком можливо, що її просто не існує [див. статтю Пола Дейвіса “Цей загадковий потік часу”]. Справді, одна із найсуперечливіших тем у теоретичній фізиці — суб’єктивність часу. Фізики почали звертатися до філософів, намагаючись з’ясувати правомірність включення змінної t у свої рівняння [див. статтю Джорджа Массера “Рана в серці фізики”].

Живі годинники

Про загадкову сутність часу розмірковують не лише фізики з філософами, але й антропологи, вивчаючи культури Сходу, де традиційно перебіг подій був циклічним і нелінійним [див. статтю Керолла Еззела “Культура часу”]. Варто погодитися, що для більшості із нас час — не просто реальність, а визначальний фактор життєдіяльності.

Відчуття того, що ми балансуємо між минулим і майбутнім, очевидно, тісно пов’язане з основами нашої біології. Наш організм нашпигований живими годинниками, які, зо-



Зустрінемося о @694 за Інтернет-часом (17:39 у місті Біль, Швейцарія). Створений фірмою Swatch часовий стандарт поділив добу на 1000 “ударів” — однакових у всьому світі в будь-який момент часу.

крема, керують нами, нагадуючи, що час відпочити [див. статтю Карена Райта “Час нашого життя”].

Сьогодні біологи відкривають таємниці біоритмів. Учені активно досліджують ті ділянки мозку, завдяки яким час летить непомітно, коли ми розважаємося, і ледве тягнеться, коли слухаємо нудну лекцію про кредитну політику канадських банків. Стає зрозумілим, як різні види пам’яті пов’язані з механізмом запам’ятовування подій та подальшого відтворення їх у хронологічній послідовності. Вивчення пацієнтів з різними формами амнезії, а також тих, які втратили здатність адекватно оцінювати минулі години, місяці, ба навіть цілі десятиліття, допомагає точно визначити зони головного мозку, відповідальні за наше сприйняття часу [див. статтю Антоніо Дамасіо “Згадуючи, коли”].

Усвідомлення свого місця у потоці подій визначає, ким ми є. Тому, безумовно, не так важливо, чи залишиться час абсолютною фізичною істиною з погляду космології. Наша повага до четвертого виміру, який доповнює три просторові, пояснюється непереборною пристрастю відзначити знаменні дати — день народження, Різдво, День незалежності. Як інакше пояснити те божевілля, яким у січні 2000 року супроводжувалося святкування дати, що не пов’язана з жодною значною подією в житті Христа і навіть, за багатьма розрахунками, не є справжньою межею тисячоліть?

Тому, незважаючи ні на що, ми пишно відсвяткуємо наступне тисячоліття (якщо до того часу не вимремо як біологічний вид), а в межичасі відзначимо золоте весілля батьків і двадцятиріччя заснування місцевого відділку народної дружини. Це єдиний спосіб нав’язати ієрархію та структуру сучасному світові, в якому миттєвий обмін повідомленнями, фото за годину, експрес-діагностика і доставка кореспонденції протягом дня загрожують позбавити нас священного відчуття постійності.

Гарі Стікс — редактор спеціальних проєктів.



PERRELET

1777



CHRONOGRAPH
GRAND MAÎTRE

ВИНАХІДНИК АВТОМАТИЧНОГО ГОДИННИКА



*Від усталеного минулого через
чуттєво-осяжне теперішнє і далі,
до невизначеного майбутнього –
у нас виникає відчуття, ніби час
невблаганно пливе вперед. Але
це відчуття оманливе...*

Пол Дейвіс

Цей загадковий потік часу

“Допоки можеш, то збирай собі троянд пуп'янки, бо Час Старий, той далі собі пролітає”.

Так писав англійський поет XVII сторіччя Роберт Геррік, укотре відтворивши найпоширеніший літературний штамп – “час летить”. Хто б засумнівався, що це не так? Не виключено, що перебіг часу – найголовніший аспект людського сприйняття; ми ж бо найглибшим своїм еством відчуваємо, як збігає час. І відчуваємо це настільки сильно, що загалом таке відчуття набагато сильніше за відчуття, скажімо, простору або маси. Перебіг часу порівнюють із польотом стріли або з потоком, що безупинно лине вперед, невблаганно несучи нас із минулого в майбутнє. Шекспір

писав про “вихор часу”, а його земляк Ендрю Марвелл казав: “Крилата колісниця часу промайнула поряд”.

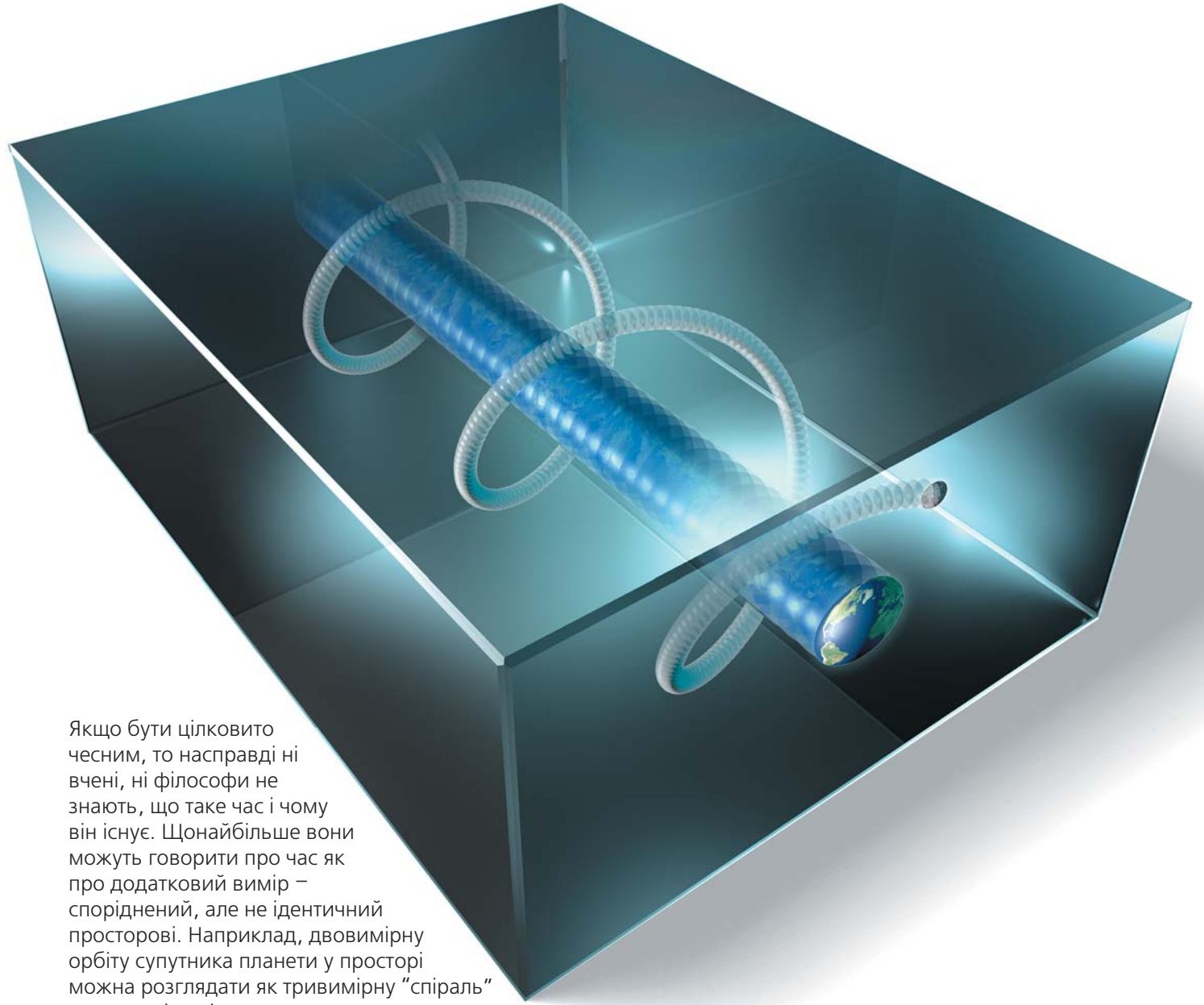
Якими знайомими й близькими не були б для нас ці образи, вони назагал оманливі й заганяють нас у глибокий та руйнівний парадокс. У сучасній фізиці немає відповідника до перебігу часу. Навпаки, фізики наполягають на тому, що час узагалі не пливе, він просто існує. А деякі філософи стверджують, що саме поняття перебігу часу – абсурд, і розмови про ріку часу або його потік породжені непорозумінням. Як може щось настільки важливе для нашого відчуття фізичного світу виявитися настільки помилковим? Що ж то за ключова властивість часу, яку наука дотепер не виявила?

Огляд

Наші відчуття підказують нам, що час спливає: минуле залишається незмінним, майбутнє – невизначене, а реальність живе у теперішньому. Але різноманітні фізичні та філософські аргументи свідчать про інше. Перебіг часу – це, найімовірніше, ілюзія. За допомогою термодинамічних чи квантових процесів свідомість може витворити враження, наче ми живемо момент за моментом.

Час не має субстанції

Зазвичай ми поділяємо час на три частини: минуле, теперішнє і майбутнє. На основі цієї основоположної класифікації побудована граматична структура мови. Реальність пов'язується із теперішнім моментом. Минуле уявляється як щось, що вже припинило своє існування, тоді як майбутнє вкрите темрявою, його подробиці ще не



Якщо бути цілковито чесним, то насправді ні вчені, ні філософи не знають, що таке час і чому він існує. Щонайбільше вони можуть говорити про час як про додатковий вимір – споріднений, але не ідентичний просторові. Наприклад, двовимірну орбіту супутника планети у просторі можна розглядати як тривимірну “спіраль” у просторі-часі.

сформувалися. У цій простій картині “тепер” для нашого свідомого розуміння постійно ковзає вперед, перетворюючи події, які щойно були у несформованому майбутньому, на конкретну, але плінну реальність теперішнього, яка згодом перетікає в усталене минуле.

Хоч яким очевидним не здавався б цей загальноживаний образ, він явно випадає з контексту сучасної фізики. Альберт Айнштейн у листі до друга відгукувався про це так: “Минуле, теперішнє і майбутнє – це тільки ілюзії, хоча й дуже відчутні”. Приголомшливий висновок Айнштейна витікає безпосередньо з його спеціальної теорії відносності, яка заперечує будь-яке абсолютне, універсальне значення сучасного моменту. Згідно з цією теорією, одночасність – відносна. Дві події, що відбуваються в один момент часу для однієї системи відліку, можуть відбуватися у різні моменти, якщо їх розглядати з іншої системи відліку.

Невинне запитання на кшталт “Що відбувається зараз на Марсі?” не має однозначної відповіді. Ключова умова – планети Земля і Марс перебувають на відстані 20 світлових хвилин одна від одної. Оскільки інформація не може поширюватися швидше за світло, спостерігач на Землі не може знати про те, що відбувається на Марсі у цей же момент часу. Відповідь прийде за 20 хвилин, після власне події, коли світло подолає відстань від однієї планети до іншої. Отриманий таким чином результат відрізнятиметься залежно від швидкості спостерігача.

Наприклад, під час майбутньої експедиції людини на Марс спостерігач на Землі може подумати собі: “Цікаво, що командир Джонс поробляє зараз на базі “Альфа”?”. Поглянувши на годинник, він побачить, що на Марсі зараз 12:00, і цілком слушно припустить, що командир Джонс обідає. Цієї ж миті космонавт, що летить повз Землю зі швидкістю, близькою до швидкості світла, поглянувши на

свій годинник, може стверджувати, що на Марсі зараз, скажімо, 11:40 або ж 12:20 — залежно від напрямку його руху. Тому на запитання про діяльність командира Джонса він міг би відповісти “Готує обід” або ж “Миє посуд” [див. ілюстрацію на стор. 26]. Такі розбіжності знецінюють будь-які спроби надати сучасному моменту часу особливого статусу, бо котрого саме із різних “тепер” він стосуватиметься? Якщо ви перебуваєте у відносному русі, то подія, яку я вважатиму невизначеним майбутнім, для вас може існувати в усталеному минулому.

Найпростіший висновок у цій ситуації — вважати устале-

Вивчаючи те, що ми зазвичай називаємо перебігом часу, багато мислителів у різні часи дійшли однакового висновку. Філософи стверджують, що це поняття внутрішньо суперечливе. Поняття потоку, поза сумнівом, пов'язане із рухом. Можна говорити про рух фізичного об'єкта (наприклад, стріли у просторі), вимірюючи, як його положення змінюється з часом. Але який зміст можна приписати самому рухові часу? Відносно чого він рухається? Якщо інші види руху пов'язують один фізичний процес

Фізики розглядають час у його цілісності — наче горизонт.

ними і минуле, і майбутнє. Керуючись саме такими міркуваннями, фізики переважно розглядають час у його цілісності — на подібній до горизонту часовій шкалі, на якій усі минулі й майбутні події викладені водночас. Такий спосіб інколи називають зафіксованим часом. Із такого опису природи цілковито випадає будь-що, що визначає окремий момент часу як теперішній. Те саме — і з будь-яким процесом, який систематично перетворював би майбутні події на теперішні, а їх, своєю чергою, — на минулі. Одним словом, для фізиків час не біжить і не тече.

НИХТО НАСПРАВДІ НЕ ЗНАЄ...

Що ж таке час?

СВЯТИЙ АВГУСТИН ІЗ ГІППО, відомий теолог XV сторіччя, якось зауважив, що добре знав, що таке час, доки хтось його про це не запитав. Тоді він не спромігся на відповідь. Оскільки ми фізіологічно відчуваємо час, то побудовані на фізиці означення часу можуть виглядати сухими й неточними. Для фізика час — це те, що відлічує годинник. Для математика — це одновимірний простір, який зазвичай вважають неперервним, хоча його також можна проквантувати на дискретні “хронони”, наче кадри у кінострічці.

Те, що час можна вважати четвертим виміром, не є свідченням його ідентичності трьом просторовим вимірам. Час і простір у щоденному житті й фізичній теорії проявляються по-різному. Наприклад, формула для обчислення відстаней у просторі-часі не зовсім така сама, як для обчислення просторових відстаней. Відмінність між простором і часом підводить фундамент під ключове поняття причинно-наслідкових змін, запобігаючи плутанині понять причини і наслідку. З іншого боку, чимало фізиків переконані, що на дуже малих просторових і часових масштабах час і простір можуть втрачати свою окремішність.

з іншим, то гаданий потік часу пов'язує час із самим собою. Просте запитання “Як швидко біжить час?” викриває абсурдність самої думки. Адже тривіальна відповідь “Одну секунду за секунду” взагалі нічого не пояснює.

Хоч у щоденному житті нам зручно оперувати поняттям перебігу часу, це поняття не містить жодної інформації, яку не можна було б отримати без нього. Розглянемо ситуацію. Аліса сподівалася, що на Різдво йтиме сніг, але коли настав цей день, надворі падав дощ; дівчина була розчарована. Однак наступного дня сніг таки випав, потішивши дівчину. Хоч цей опис і переповнений часовими граматичними формами та вказівками на перебіг часу, ту саму інформацію можна отримати, якщо просто зіставити психологічний стан Аліси із датами, оминувши всі вказівки на перебіг часу і зміни у навколишньому світі. Для цього вистачить ось такого, доволі громіздкого й сухого переліку фактів:

24 грудня: Аліса сподівається на сніг.

25 грудня: Дощить. Аліса розчарована.

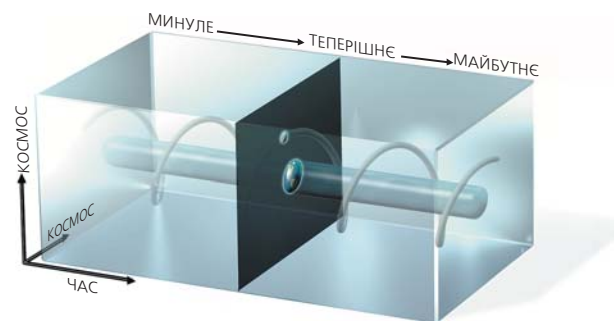
26 грудня: Випав сніг. Аліса щаслива.

У цьому описі нічого не відбувається і не змінюється. Це просто перелік станів природи у різний час і відповідні психологічні стани Аліси.

Над цією проблемою розмірковували ще давньогрецькі філософи Зенон і Парменід. Багато сторіч по тому британський філософ Джон МакТаггарт намагався чітко відмірити опис світу за допомогою низки подій, що відбуваються (він називав його рядом А), та опис за допомогою дат, пов'язаних із станами світу (ряд Б). Кожен із цих рядів — всього лише достовірний опис реальності, але, незважаючи на це, згадані погляди помітно суперечать один одному. Наприклад, подія “Аліса розчарована” одного разу опинилася в майбутньому, потім у теперішньому, а згодом — у минулому. Але ж минуле, теперішнє і майбутнє виключають одне одного — тому, як одна подія може належати усім трьом? МакТаггарт використовував суперечність між рядом А та рядом Б для тверджень про нереальність часу як такого. Це, безперечно, надто радикальний висновок. Більшість фізиків сформулювали б його не так драматично: потік часу не відповідає реальності, але сам по собі час так само реальний, як і простір.

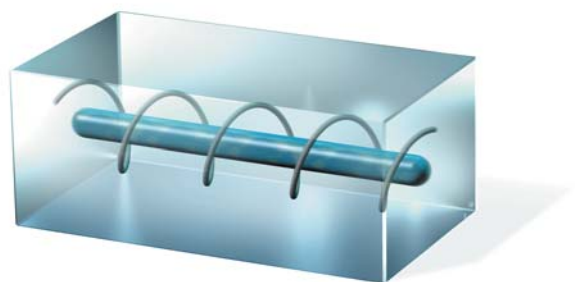
Увесь час наче теперішній

Прийнято вважати, що теперішній момент часу має особливе значення. Він – реальність. Із цоканням годинника цей момент минає і з'являється наступний. Саме цей процес ми називаємо потоком часу. Наприклад, у певній точці орбіти Місяця було визначено відстань до нього із Землі. З часом Місяць перестає існувати у цьому місці – натомість його можна виявити в іншому.



ТРАДИЦІЙНА СИСТЕМА ПОГЛЯДІВ: лише сучасність реальна.

Однак дослідники, обмірковуючи такі речі, зазвичай заперечують можливість присвоєння теперішньому моменту часу статусу особливого, бо тоді кожен момент часу можна вважати особливим. Об'єктивно минуле, теперішнє і майбутнє мають бути однаково реальними. Усю Вічність можна зобразити як чотиристовірний блок, що складається з часу і трьох просторових вимірів. (На цій діаграмі показано лише два з них).



ЗАФІКСОВАНИЙ ВСЕСВІТ: всі часи однаково реальні.

Саме на часі

Найбільше плутанини в дискусіях про поняття перебігу часу виникає через його зв'язок із так званою стрілою часу. Заперечення плинності часу не означає, що напрямки “у минуле” або “у майбутнє” позбавлені фізичного ґрунту. Події у світі, безперечно, утворюють односпрямовану послідовність. Наприклад, яйце, упавши на підлогу, розлетиться на шматки, але ще ніхто не був свідком зворотного процесу, – щоб розбите яйце саме по собі склалося у ціле. Це приклад дії другого закону термодинаміки, який стверджує, що ентропія ізольованої системи (вона приблизно вказує міру неупорядкованості системи) зростає із часом. Ціле яйце має нижчу ентропію, ніж розбите.

Оскільки природа рясніє прикладами незворотних фізичних процесів, саме другий закон термодинаміки відображає очевидну асиметрію між напрямками у минуле і майбутнє вздовж часової осі. За домовленістю, стріла часу вказує у напрямку майбутнього. Це не означає, що стріла рухається в цьому напрямку, – подібно до того, як стрілка компаса, показуючи на північ, не вказує, що сам компас рухається на північ. Обидві стрілки вказують на асиметрію, а не на рух. Стріла часу показує асиметрію світу в часі, але не асиметрію потоку часу. Написи “минуле” і “майбутнє” можна цілком виправдано застосовувати до напрямків розгортання часу – як “угору” чи “вниз” застосовуються до просторових напрямків. Однак міркування про окремі минуле чи майбутнє так само позбавлені змісту, як посилення на окремі “низ” чи “верх”.

Відмінність між властивістю “минулого” чи “майбутньо-

го” і самим минулим та самим майбутнім графічно можна показати за допомогою відеореяду про те, наприклад, як яйце падає на підлогу і розбивається. Якщо фільм прокрутити у зворотному напрямі, то кожен зрозуміє, що така послідовність подій нереальна. А тепер уявіть, що фільм розрізали на окремі кадри й хаотично їх перемішали. Загалом будь-хто може скласти з них правильно впорядковану послідовність із розбитим яйцем угору й цілим вниз. Такий вертикальний стосик зберігає асиметрію, як вказує стріла часу, бо утворює впорядковану послідовність у вертикальному просторі. Так ми доводимо, що асиметрія часу насправді є властивістю станів світу, а не властивістю часу як такого. Навіть не конче запускати такий фільм, щоб помітити у ньому стрілу часу.

Словом, більшість фізичних та філософських роздумів про час не змогли виявити будь-яких ознак часового потоку. Чим тоді викликане сильне, універсальне враження, буцім світ – то неперервний стан потоку? Деякі дослідники (зокрема хімік Ілля Пригожин, нобелівський лауреат, який працює в Університеті штату Техас) припускають, що тонка фізика незворотних процесів робить потік часу об'єктивним аспектом світу. Але більшість учених вважає, що це своєрідний вид обману.

Про автора

Пол Дейвіс – фізик-теоретик Австралійського центру астробіології при Університеті Макквейр у Сіднеї. Один із найвідоміших популяризаторів фізичних знань. Сфера його наукових інтересів включає чорні діри, теорію квантових полів, походження Всесвіту, природу свідомості та походження життя.

Усе відносне

Що ж діється на Марсі саме зараз? Просте запитання, а потребує такої складної відповіді. Проблеми породжує фраза "саме зараз". Різні люди, рухаючись із різними швидкостями, по-різному сприймають отой теперішній момент часу. Цей дивний факт відомий під назвою відносності одночасності. Двоє спостерігачів – один сидить у

Г'юстоні, а другий летить у ракеті крізь Сонячну систему зі швидкістю, що становить 80 відсотків швидкості світла, – намагаються відповісти, що ж діється на Марсі саме зараз. Житель Марса повинен сідати до столу, коли його годинник показуватиме 12:00. У цей момент він надішле сигнал. – П. Д.

Погляд із Землі

З позиції земного спостерігача, Земля непорушна, Марс перебуває на сталій віддалі (20 світлових хвилин), а космічний корабель рухається зі швидкістю 80 відсотків швидкості світла. Марсіанину ситуація видається аналогічною.

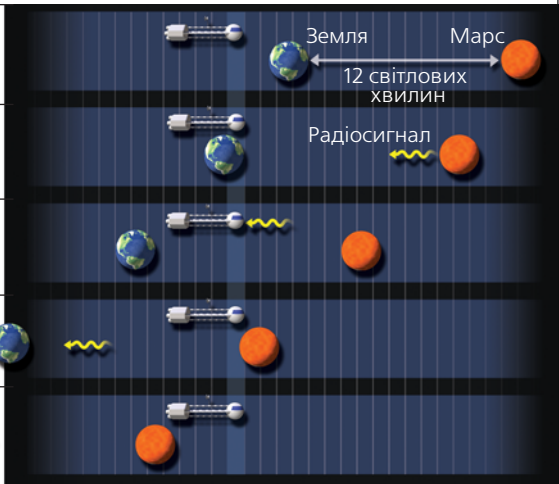
До полудня	Обмінюючись світловими сигналами, землянин і марсіанин вимірюють відстань між собою і синхронізують годинники.
12:00	Землянин вважає, що марсіанин сів до обіду. Він чекає 20 хвилин, щоб у цьому переконатися.
12:11	Знаючи швидкість ракети, землянин припускає, що вона перехопить сигнал на шляху до Марса.
12:20	Сигнал прибуває на Землю. Землянин отримав підтвердження свого попереднього припущення. Полудень на Марсі схожий на полудень на Землі.
12:25	12:25. Корабель прибуває на Марс.



Погляд із ракети

З позиції космонавта, ракета непорушна. Планети мчать у просторі зі швидкістю 80 відсотків швидкості світла. Його вимірювання показують, що дві планети перебувають на відстані 12 світлових хвилин одна від одної. Це значення відрізняється від отриманого землянином. Така розбіжність – добре відомий наслідок теорії Айнштейна – називається релятивістським скороченням. Пов'язаний з ним інший ефект – сповільнення часу – змушує годинники на ракеті й на планетах йти з різною швидкістю. (Землянин і марсіанин вважають, що годинник на ракеті запізнюється, а чоловік на ракеті – що запізнюються годинники на планетах).

До полудня	Обмінюючись світловими сигналами зі своїми колегами, космонавт вимірює відстань між планетами
12:00	Пролітаючи повз Землю, космонавт припускає, що марсіанин розпочав обід. Він чекатиме 12 хвилин, щоб перевірити це.
12:07	Прибуває сигнал, спростовуючи припущення космонавта. Тоді він припускає, що марсіанин поїв раніше (за часом ракети).
12:15	Корабель наближається до Марса. Космонавт і марсіанин виявляють, що їхні годинники втратили синхронізацію, але не можуть з'ясувати, чий годинник показує правильний час.
12:33	Сигнал прибуває на Землю. Розбіжність показів годинників доводить, що універсальний теперішній момент не існує.



Поza тим, реального перебігу часу ми не спостерігаємо. Ми лише порівнюємо пізніші стани світу з попередніми станами, які ще пам'ятаємо. Те, що ми пам'ятаємо минуле, а не майбутнє, є спостереженням не перебігу часу, а його асиметрії. Ніщо інше, крім свідомого спостерігача, не реєструє потоку часу. Годинник вимірює тривалість між подіями абсолютно так само, як лінійка вимірює відстань між різними точками. Він не вимірює "швидкість", з якою один момент часу змінює попередній. Отож, виглядає на те, що потік часу — не об'єктивне, а суб'єктивне відчуття.

Живучи в теперішньому

Ця ілюзія потребує особливого пояснення. Його слід шукати у сфері психології, нейрофізіології і, напевно, лінгвістики та культури. Сучасна наука щойно почала розглядати питання, як саме ми сприймаємо перебіг часу. Воно якось пов'язане з тим, як працює мозок. Якщо ви покру-

ційних реальностей. Кожному спостережуваному результату квантова механіка надає відносні ймовірності, однак не вказує, котре саме із потенційних майбутніх призначене для реальності.

Але коли спостерігач здійснює вимірювання, він отримує один конкретний результат. Тобто відбитий електрон завжди рухатиметься у певному напрямку. Під час акту вимірювання із широкого обшину можливостей випроєктовується одна конкретна реальність. У думці спостерігача можливе переходить у дійсне, відкрите майбутнє — в усталене минуле. А саме це ми вважаємо потоком часу.

Фізики не дійшли згоди щодо того, як саме відбувається перехід від численних потенційних реальностей до однієї дійсності. Багато фізиків висловлювало здогади, що тут втручається свідомість спостерігача. Це зроблено на основі того факту, що саме вплив спостереження змушує природу визначитися. Дехто з дослідників (зокрема Роджер Пенроуз із Оксфордського університету) наполягає на тому, що сві-

Сучасна наука щойно почала розглядати питання, як саме ми сприймаємо перебіг часу.

тешся на місці, а потім різко зупиниться, то вам запаморочиться голова. Здається, наче світ обертається навколо вас, але насправді це не так. Відчутний рух навколишнього світу — це ілюзія, що виникає внаслідок обертання рідини у внутрішньому вусі. Цілком можливо, що часовий потік виникає так само.

Є два аспекти часової асиметрії, які можуть справити хибне враження, буцім час тече. Перший із них — термодинамічна відмінність між минулим і майбутнім. Нещодавно фізики дійшли висновку, що поняття ентропії тісно пов'язане з інформаційним умістом системи. Відтак, формування пам'яті є односпрямованим процесом — нові спогади просто додають інформації, збільшуючи ентропію мозку. Ми можемо сприймати цю односпрямованість як потік часу.

Другий аспект певним чином пов'язує наше сприйняття потоку часу із квантовою механікою. Вже на самих початках формулювання квантової механіки було зауважено цілковиту унікальність часу — на відміну від простору. Особлива роль часу стала однією з тих причин, які дивовижно ускладнили об'єднання квантової механіки із загальною теорією відносності. Принцип невизначеності Гайзенберга, який закріплює за природою вроджену недетермінованість, передбачає відкритість майбутнього. Цей індетермінізм найпомітніший на атомному масштабі. Це означає, що спостережувані характеристики, які описують фізичну систему, загалом залишаються невизначеними від одного моменту часу до іншого.

Наприклад, електрон, стикаючись із атомом, може відскочити в одному із безлічі напрямків, тож зазвичай неможливо наперед передбачити, яким буде результат у кожному конкретному випадку. Квантова невизначеність означає, що певний квантовий стан має багато (можливо, нескінченно багато) альтернативних майбутніх або потен-

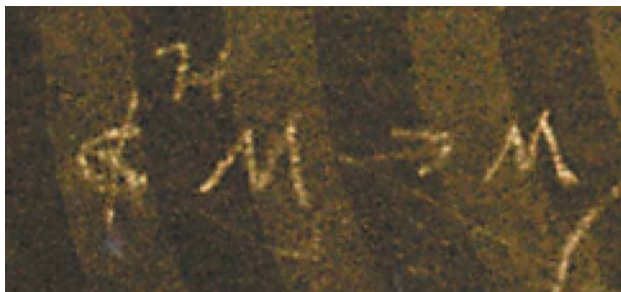
домість, а отже й ілюзія часового потоку, може бути пов'язана із квантовими процесами у головному мозку.

Хоч дослідники й не знайшли доказів існування єдиного "часового органу" в мозку (на зразок центру візуального сприйняття у його корі), не виключено, що майбутні дослідження виявлять, які саме нервові процеси відповідальні за наше відчуття часового перебігу. Уявіть собі ліки, що гальмуватимуть часові відчуття пацієнта. До речі, дехто з прихильників медитацій може досягти такого психологічного стану і природним способом.

І все-таки, що якби наука врешті зуміла пояснити потік часу? Тоді ми не переймалися б майбутнім і не сумували б за минулим. Смерть і народження більше не були б джерелом стресів і переживань. Сподівання і ностальгія випали б зі словника людства. Більше того, зникло б відчуття невідкладності, яке пронизує більшість аспектів людської діяльності. І заклик Генрі Лонгфелло "Діяти і діяти у живому теперішньому!" остаточно втратило б сенс, адже минуле, теперішнє і майбутнє — це просто частина минулого. CA

Рекомендована література

The Unreality of Time. John Ellis McTaggart in *Mind*, Vol. 17, pages 456-473; 1908.
Can Time Go Backward? Martin Gardner in *Scientific American*, Vol. 216, No. 1, pages 98-108; January 1967.
What Is Time? G. J. Whitrow. Thames & Hudson, 1972.
The Physics of Time Asymmetry. Paul Davies. University of California Press, 1974.
Time and Becoming. J.J.C. Smart in *Time and Cause*. Edited by Peter van Inwagen. Reidel Publishing, 1980.
About Time: Einstein's Unfinished Revolution. Paul Davies. Simon & Schuster, 1995.



Рана в серці фізики

Фізикам постійно бракує часу. Чи допоможуть їм філософи?

Джордж Массер

Для більшості людей велика таємниця часу полягає в тому, що його ніколи не буває достатньо. Можете радіти: такі самі клопоти мають і фізики. Формули, що описують фізичні закони, містять змінну часу, але вони не пояснюють різниці між минулим і майбутнім. Щойно вчені намагаються сформулювати фундаментальні закони фізики, як із формул зникає маленьке t , котре позначає час. Тож на допомогу мають прийти філософи.

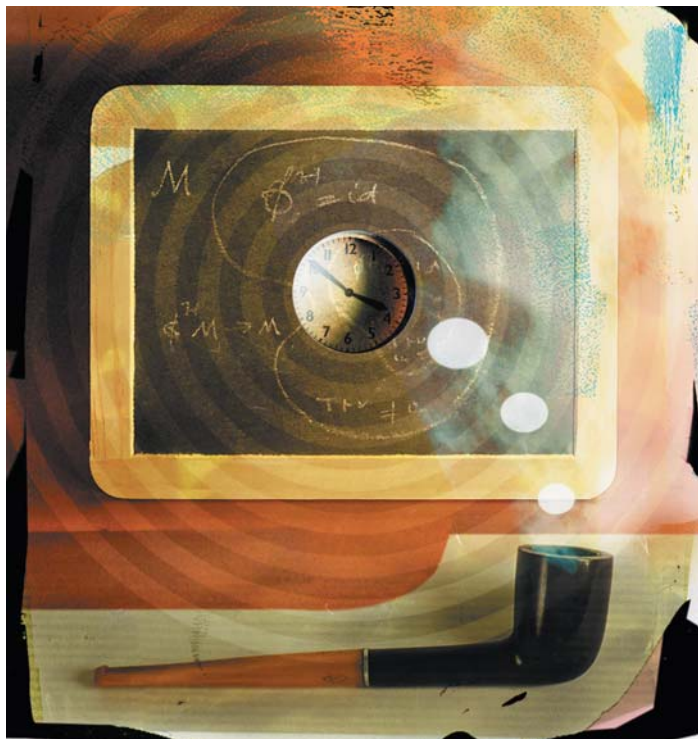
Для більшості фізиків філософія — це посиденьки за гальбою темного пива. І навіть ті з них, хто читав серйозні філософські праці, сумніваються в їхній доцільності. Праці Канта наводять їх на думку, що основа філософії — неперебірливість у гонитві за невизначеністю. “Правду кажучи, більшість моїх колег просто боїться спілкуватися з філософами — точнісінько так само, як ми боїмося, аби нас не застукали під час перегляду порнографічного фільму”, — каже фізик Макс Тегмарк із Пенсильванського університету.

Але так було не завжди. Філософи брали активну участь у наукових революціях минулого. Вони прилучилися навіть до розвитку квантової механіки і теорії відносності на початку ХХ сторіччя. Незабаром настане той день, коли останні об’єднаються у теорію квантової гравітації, яка повинна примирити дві різні концепції простору і часу. Апологет такого синтезу Карло Ровеллі з Університету Екс-Марсель (Франція) вважає, що внесок філософів у нове розуміння часу і простору в квантовій теорії гравітації буде винятковим. Це можна проілюструвати двома прикладами.

Перший торкається “проблеми замороженого часу”, або ж — “проблеми часу, що виникає при спробах інтегрувати загальну теорію відносності Айнштейна у квантову теорію з використанням вторинного квантування”. Цей метод ефективний для теорії електромагнітного поля, але в теорії відносності приводить до рівняння Віллера-Де Вітта, котре не містить змінної часу. Іншими словами, згідно з цим рівнянням Всесвіт мав би “заморозитися” у часі, зовсім і ніколи не змінюючись.

Більше не витрачаєте часу

Невтішний висновок про незмінність Всесвіту може бути наслідком недосконалості самої операції вторинного квантування. Деякі фізики та філософи вважають, що причини цієї проблеми полягають в одному з основоположних принципів теорії відносності — принципі загальної коваріантності, за яким закони фізики однакові для всіх спостерігачів. Зазвичай фізики не розглядають його з погляду властивостей простору і часу. Для двох спостерігачів простір і час матимуть різні форми — залежно від того, хто з них рухається і які сили при цьому діють. Наприкінці 1980-х років філософи Джон Ерман та Джон Нортон із Пітсбурзького університету стверджували, що коваріантність примушує замислитися над вічною проблемою метафізики: чи існують простір і час незалежно від зірок, галактик і речовини, з якої вони складаються (субстанціоналізм), чи вони — всього лише штучні параметри для опису співвідношень фізичних об’єктів (реля-



ціонізм)? Нортон писав: “Чи дійсно простір і час нагадують полотно, яке існує незалежно від того, малюють на ньому чи ні? Чи, може, у них статус батьків, якого набувають лише після народження дітей?”

Ерман і Нортон переглянули давно забутий інтелектуальний експеримент Айнштайна. Уявімо собі провал у просторі-часі. Поза цією порожньою ділянкою розподіл матерії фіксує геометрію простору-часу відповідно до рівнянь загальної теорії відносності. Проте всередині ділянки коваріантність дозволяє просторові-часу набувати будь-яких форм. У певному сенсі простір-час поводить як полотняний тент, натягнутий на стовпчиках, що символізують матерію. Стопчики надають полотну визначеної форми. Але якщо забрати один стовпчик (еквівалент утворення провалу), то частина тенту провисне або ж лопотітиме на вітрі.

Не деталізуючи, зазначимо, що такий експеримент породжує певну дилему. Якщо просторово-часовий континуум вважати окремою сутністю (так стверджує теорія субстанціоналізму), то загальна теорія відносності не може бути детермінованою, тобто її опис світу повинен містити елемент випадковості. Щоб теорія стала детерміністською, простір і час мусять бути цілковито вигаданими (це відповідає реляціоністському поглядові). На перший погляд, перемагає реляціонізм. До того ж інші теорії (наприклад, електромагнітного поля) також ґрунтуються на принципах симетрії, які використовує реляціонізм.

Але в реляціонізмі — свої недоліки. Він породжує проблему “замороженого” часу: простір може змінюватися із часом, але всі його можливі форми еквівалентні, тобто насправді він ніколи не міняється. Більше того, теорія реляціонізму суперечить фундаментальним основам квантової механіки. Якщо простір і час не мають фіксованого

сенсу, то чи можна проводити спостереження у визначених місцях і в певні моменти часу, як того, начебто, вимагає квантова механіка?..

Різні способи розв’язання дилеми породжують різні теорії квантової гравітації. Деякі дослідники, зокрема Карло Ровеллі та Джуліан Барбу, намагаються застосувати релятивістський підхід. Вони вважають, що час не існує, й шукають можливості пояснити вищезгадані зміни ілюзіями. Інші вчені, зокрема й ті, хто займається теорією струн, схиляються до субстанціоналізму.

“Це гарний приклад того, наскільки цінний філософський підхід до фізики, — каже філософ Крег Каллендер з Університету Сан-Дієго (Каліфорнія). — Якщо декому здається, буцім проблема часу в канонічній теорії квантової гравітації є винятково проблемою квантової фізики, то він узагалі не розуміє суті цієї проблеми, адже вона значно давніша і має набагато ширший характер”.

Щодо ентропії

Другий приклад співпраці фізики та філософії стоїть так званої стріли часу — асиметрії між минулим і майбутнім. Багато хто вважає, що феномен стріли часу пояснює другий закон термодинаміки, який стверджує: ентропія (кількість хаосу всередині системи) посилюється із часом. Хоча, можливо, другий закон тут ні до чого.

Загальноприйняте тлумачення другого закону, запропоноване австрійським фізиком Людвігом Больцманом у XIX сторіччі, має ймовірнісний характер. Головна ідея полягає в тому, що хаотичних станів системи набагато більше, ніж упорядкованих. Якщо у певний момент система доволі впорядкована, то в наступний, найімовірніше, перебуватиме у стані більшої неупорядкованості. Хоча все це симетричне у часі: не виключено, що в попередній момент система могла бути ще неупорядкованою. За Больцманом, єдина гарантія росту ентропії в майбутньому — низьке значення ентропії системи у попередній момент часу. Таким чином, другий закон не має абсолютного характеру.

Інші теорії стріли часу також недосконалі. Філософ Г'ю Прайс із Сіднейського університету стверджує, що майже кожна спроба пояснити асиметрію часу містить логічну помилку: пояснення, як правило, приховують у собі передбачення про асиметричність часу. Роботи Прайса — яскравий приклад того, наскільки, за словами філософа Річарда Гілі з Арізонського університету, філософи можуть бути корисними як “інтелектуальна совість практикуючого фізика”. Прихильники чітких логічних роздумів, вони постійно стежать за незначними дотичними впливами.

Життя було б надто нудним, якби ми завжди прислухалися до власної совісті. Тож фізики діяли правильно, ігноруючи філософів. Але інколи совість — єдина зброя у вічній боротьбі з логічними помилками.

Джордж Массер — редактор і письменник.

Дивись також

Як створити машину часу

Зробити це нелегко, але... можливо

Пол Дейвіс

Подорож у часі — популярна науково-фантастична тема від 1895 року, коли Герберт Веллс написав свій знаменитий роман “Машина часу”. Але чи можна цього досягнути насправді? Чи можна побудувати машину, яка перенеситиме людину в минуле або в майбутнє?

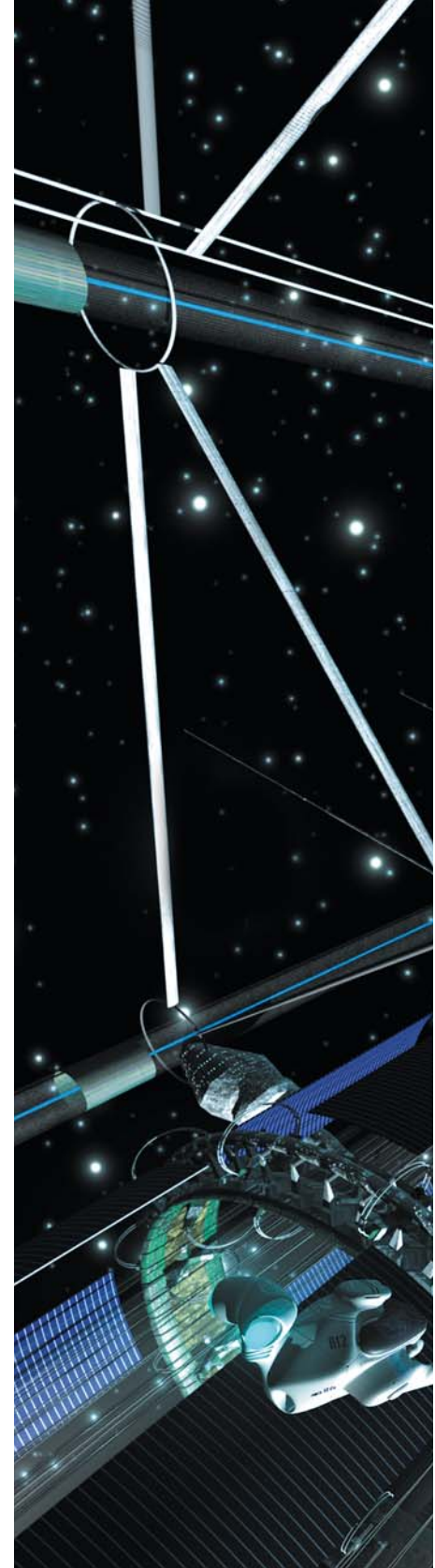
На жаль, подорожі в часі ніколи не були предметом дослідження серйозної науки. Однак віднедавна ця тема стала дуже популярною серед фізиків-теоретиків. Мотивація проста: розмірковувати про такі подорожі забавно, це щось на кшталт популярного хобі. Однак ці дослідження мають і серйозну складову. Розуміння зв'язку між причиною і наслідком — ключовий елемент побудови єдиної фізичної теорії. Якби у принципі необмежені подорожі в часі були можливими, природа такої теорії значно змінилася б.

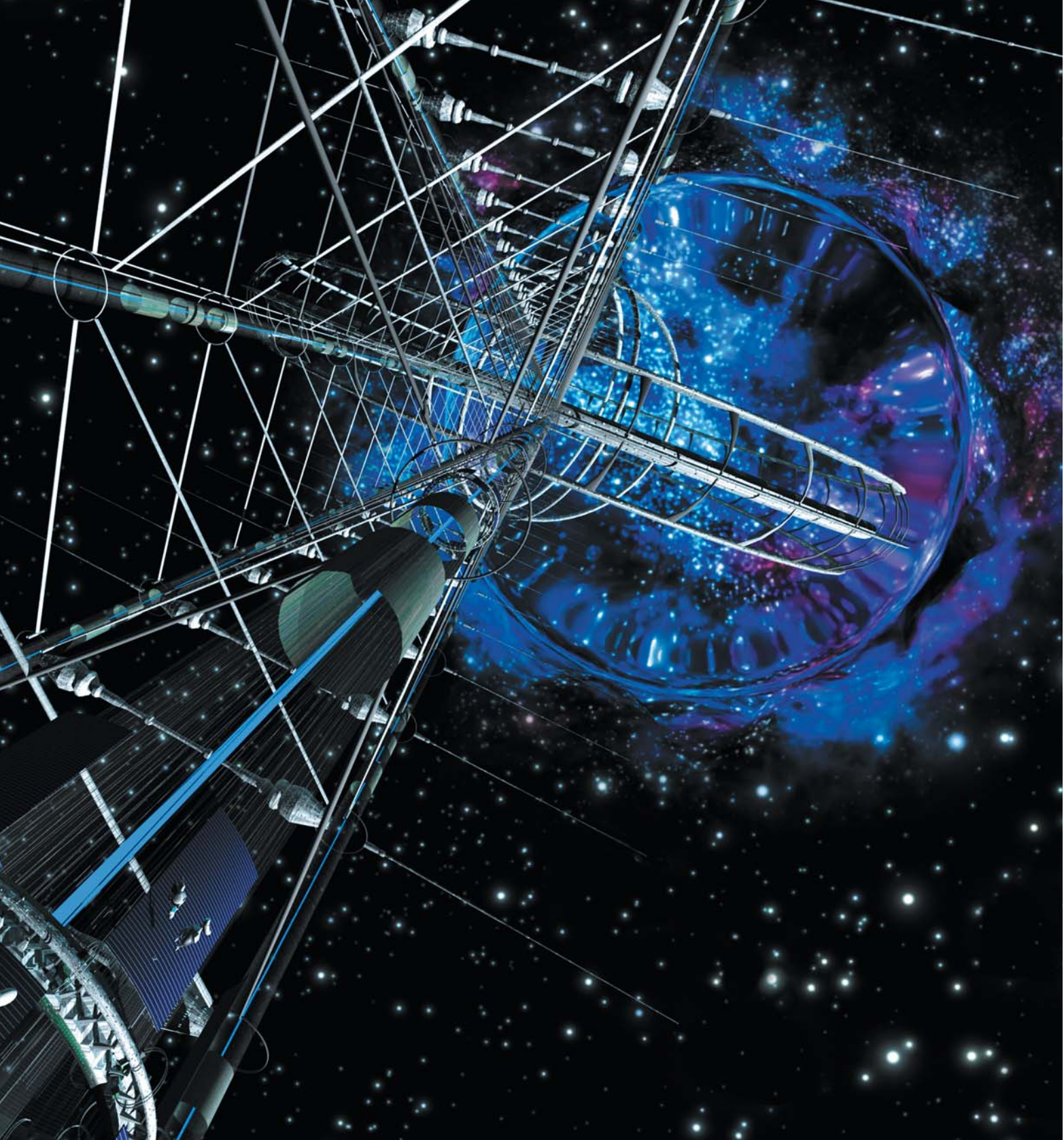
ОГЛЯД

- Подорожувати у часі в майбутнє досить легко. Якщо рухатися зі швидкістю, близькою до швидкості світла, або перебувати у сильному гравітаційному полі, час для мандрівника минатиме повільніше, ніж для інших людей.
- Подорожувати в минуле значно складніше. Теорія відносності уможливіває таку подорож у певній просторово-часовій конфігурації: у Всесвіті, що обертається, в обертовому циліндрі, або, що особливо захоплює, у просторово-часовому тунелі.

Найповніше розуміння поняття часу дає теорія відносності Айнштейна. До її появи час вважали абсолютним та універсальним, однаковим для кожного спостерігача незалежно від фізичних умов. У своїй спеціальній теорії відносності Айнштейн висловив припущення, що вимірюваний інтервал часу між двома подіями залежить від того, як рухається спостерігач. Інакше кажучи, два спостерігачі, що рухаються з різними швидкостями, зафіксують різні тривалості часових інтервалів між двома однаковими подіями.

Цей ефект часто описують за допомогою “парадоксу близнюків”. Нехай Саллі та Сем — близнюки. Саллі сідає в космічний корабель і летить зі швидкістю, близькою до швидкості світла, до сусідньої зорі, розвертається і прямує назад до Землі. Натомість Сем залишається вдома. Подорож Саллі може тривати, скажімо, один рік, але коли вона повернеться і вийде з космічного корабля, то виявить, що на Землі минуло 10 років. Її брат тепер на 9 років старший за неї. Саллі й Сем уже не одного віку, хоча народилися в один день. Цей приклад ілюструє один із варіантів подорожей у часі. По суті, Саллі зробила стрибок у майбутнє Землі на 9 років.





ГЕНЕРАТОР ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ТУНЕЛЮ / КОРАБЕЛЬ-БУКСИР – такими їх зобразив художник-футурист Петер Болінжер. Гігантський космічний прискорювач елементарних частинок спроможний створювати, збільшувати і буксирувати тунелі, що використовуватимуться як машини часу.

Ефект, відомий у науці як розтягнення часу, можна спостерігати щоразу, коли два спостерігачі рухаються один відносно одного. У повсякденному житті ми не зауважуємо таємничих викривлень часу, оскільки цей ефект стає помітним лише тоді, коли рух відбувається зі швидкістю, близькою до швидкості світла. Навіть швидкість літака настільки мала, що сповільнення часу впродовж звичайного авіаперельоту не перевищує кількох наносекунд. Не порівняти із веллєвськими масштабами. Проте атомні годинники достатньо точні, щоб зафіксувати цей зсув і підтвердити, що в русі час справді скорочується. Тому подорож у майбутнє, навіть якщо воно й надзвичайно близьке, – доведений факт.

Щоб спостерігати справді помітні викривлення часу, потрібно вийти за межі повсякденного досвіду. У великих прискорювачах субатомні частинки можна розігнати до швидкостей, близьких до швидкості світла. Деякі з цих частинок (наприклад, мюони) мають “внутрішні годинники” – певний період напіврозпаду. Спостереження показують, що швидкі мюони всередині прискорювачів розпадаються повільніше. Це

моряки, таксисти і крилаті ракети значно відхилялися б від маршруту і збивалися з курсу.

На поверхні нейтронної зорі гравітація настільки сильна, що час сповільнюється відносно земного на 30%. Спостерігачеві на поверхні такої зорі події на Землі нагадували б прискорене відео. Чорні діри – граничний варіант викривлення часу. На поверхні діри час для земного спостерігача застигає. Це означає, що, падаючи у чорну діру, ви дуже швидко досягнете її поверхні. Натомість у Всесвіті пройде ціла вічність. Тому для стороннього спостерігача у зовнішньому Всесвіті ділянка всередині чорної діри лежить поза часовими межами. Якби астронавт міг наблизитися досить близько до чорної діри й повернутися неушкодженим (без сумніву, фантастична і безглузда перспектива), то зробив би стрибок у далеке майбутнє.

Голова йде обертом

Досі ми говорили про подорожі у майбутнє. А як щодо минулого? Це значно проблематичніше. У 1948 році Курт Гудель з Інституту перспективних досліджень у Принстоні (штат Нью-Джерсі) розв’язав айнштайнівські

Просторово-часовий тунель вперше описав у 1985 році Карл Саґан у романі “Контакт”.

узгоджується з теорією Айнштайна. Деякі космічні промені також зазнають видовищних викривлень часу. Ці частинки рухаються зі швидкостями, настільки близькими до швидкості світла, що, на “їхній погляд”, вони перетинають Галактику за хвилини, хоча у системі відліку Землі їхня подорож триває десятки тисяч років. Якби не було сповільнення часу, ці частинки ніколи не досягли б Землі.

Швидкість – один зі способів стрибнути в майбутнє. Інший спосіб – гравітація. У загальній теорії відносності Айнштайн передбачив, що гравітація сповільнює час. Годинник йде швидше на горищі, ніж у підвалі, який ближче до центра Землі і тому глибше розташований у полі земного тяжіння. Аналогічно, годинник у космосі йде швидше, ніж на поверхні Землі. І знову ж таки спостережуваний ефект незначний, але його можна безпосередньо виміряти точними годинниками. Ці ефекти викривлення часу були враховані при створенні глобальної системи визначення положення (GPS). Інакше

рівняння для гравітаційного поля, що описували Всесвіт, який обертається. У цьому Всесвіті астронавт міг би подорожувати у просторі так, щоб опинитися у своєму минулому. Це відбувається внаслідок впливу гравітаційного поля на електромагнітні хвилі. Обертання Всесвіту примусило б світло (а відтак і причинні зв’язки між об’єктами) також обертатися. Це зумовило б рух матеріальних об’єктів по замкнених петлях у просторі, що були б заодно і часовими петлями, але так, що у безпосередній близькості до об’єкта швидкості в жодному разі не перевищували б швидкості світла. Розв’язок Гуделя сприйняли як математичний курйоз. Зрештою, спостереження не дали жодних підтверджень обертання Всесвіту як єдиного цілого. Проте розв’язок продемонстрував, що теорія відносності не заперечує зворотного руху в часі. Айнштайн справді визнавав, що нерідко замислювався над тим, що розроблена ним теорія за певних обставин дозволяє подорожі в минуле.

Розроблені й інші сценарії, які дозволяють подорож у минуле. Наприклад, у 1974 році Френк Тіплер з Університету Тулейна обчислив, що масивний, нескінченно довгий циліндр, обертаючись навколо своєї осі зі швидкістю, близькою до швидкості світла, й примушуючи світло нав-

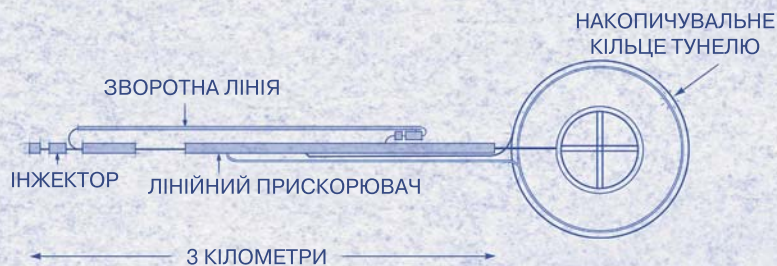


PETER BOLLINGER (preceding page); EVERETT COLLECTION (above)

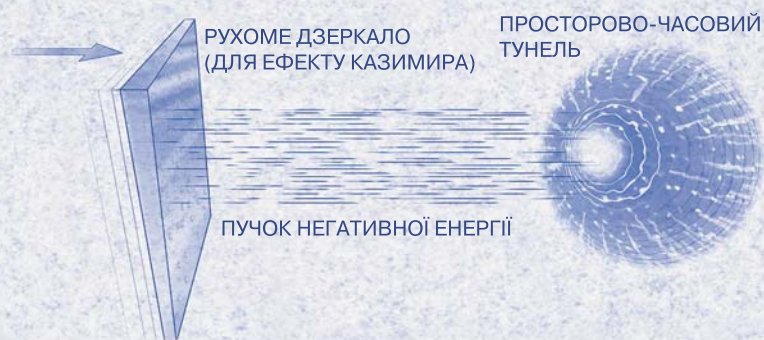
Про автора Пол Дейвіс – фізик-теоретик Австралійського центру астробіології при Університеті Маквері в Сіднеї. Автор багатьох науково-популярних книг. Його науково-дослідницькі інтереси охоплюють чорні діри, квантову теорію поля, походження Всесвіту, природу свідомості та зародження життя.

Три непрості етапи створення тунельної машини часу

1 ЗНАЙТИ АБО ПОБУДУВАТИ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ ТУНЕЛЬ, що сполучає дві різні точки простору. Великі просторово-часові тунелі можуть насправді існувати у глибокому космосі як "відлуння" Великого Вибуху. Якщо знайти їх не вдасться, то доведеться мати справу з субатомними тунелями – як природними, які, на думку вчених, можуть постійно виникати і зникати довкола нас, так і штучними, створеними за допомогою прискорювачів елементарних частинок (див. рисунок праворуч). Ці менші тунелі доведеться збільшити до потрібних розмірів (можливо, використовуючи енергетичні поля на кшталт тих, що змусили простір миттєво розширитися невдовзі після Великого Вибуху).



2 СТАБІЛІЗУВАТИ ТУНЕЛЬ. Уведення в нього від'ємної енергії, отриманої квантовими засобами (наприклад, за допомогою так званого ефекту Казимира), дозволить сигналам або об'єктам без перешкод проходити крізь тунель. Від'ємна енергія протидіятиме спробам тунелю стиснутися у точку нескінченної (або майже нескінченної) густини. Іншими словами, вона не дасть йому стати чорною дірою.



3 ВІДБУКСУВАТИ ТУНЕЛЬ. Космічний корабель, побудований за найдосконалішими технологіями, розділить виходи тунелю. Один вихід можна буде розташувати біля поверхні нейтронної зорі з винятковою густиною і сильним гравітаційним полем. Сильна гравітація сповільнить плин часу. Оскільки на іншому виході тунелю час тектиме швидше, два виходи будуть розділені не лише у просторі, але й у часі.



коло циліндра так само рухатися по колу, дозволив би астронавтам відвідати власне минуле. У 1991 році Річард Готт із Принстонського університету передбачив, що космічні струни – структури, які, на думку космологів, виникли на ранніх стадіях формування Всесвіту, одразу після Великого Вибуху, – могли б породити подібні ефекти. Але в середині 1980-х років з'явився найреалістичніший сценарій створення машини часу, що базується на понятті просторово-часового тунелю.

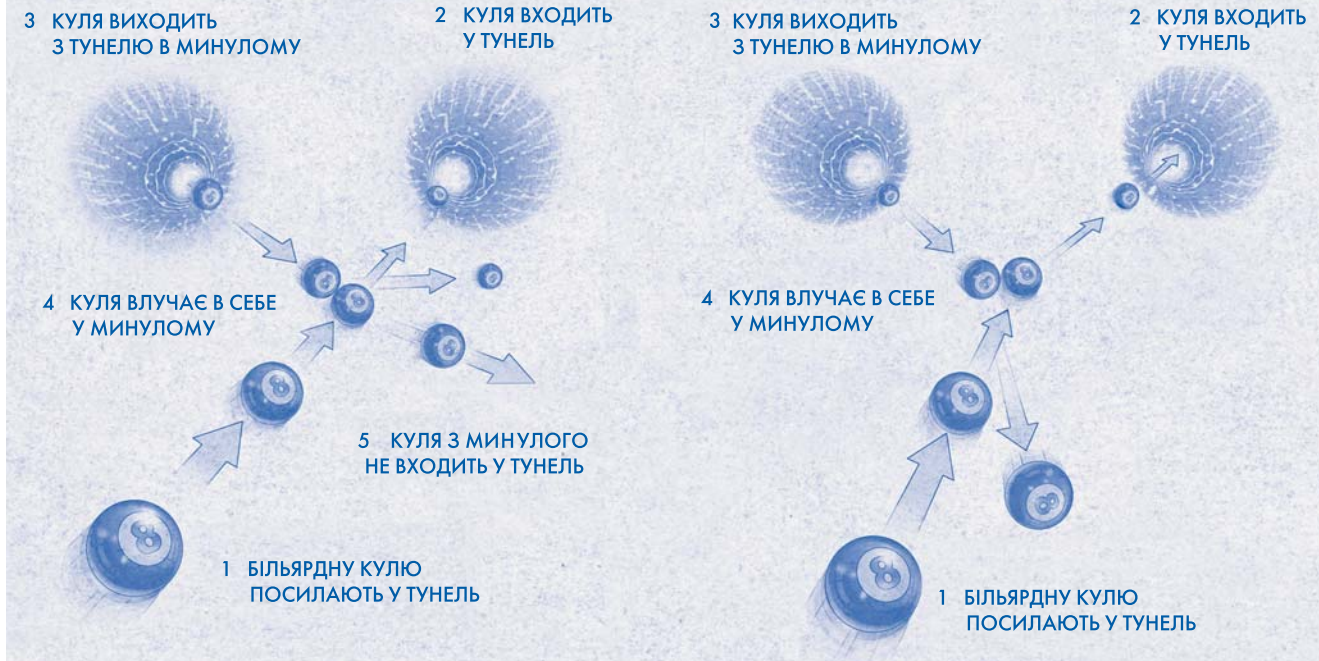
У науково-фантастичній літературі такі тунелі іноді називали зоряними воротами. Вони забезпечували швидкий зв'язок між двома віддаленими точками у

космосі. Сстрибаєте через гіпотетичний тунель і можете за мить опинитися на іншому кінці галактики. Просторово-часові тунелі природно вписуються в загальну теорію відносності, згідно з якою гравітаційне поле викривлює не лише час, але й простір. Ця теорія дозволяє провести аналогію між об'їзною дорогою і тунелем, який поєднує дві точки простору. Математики називають такий простір багатозв'язним. Як тунель, що проходить крізь гору, може бути коротшим за наземну дорогу, так і просторово-часовий тунель може бути коротшим за звичайний маршрут у звичайному просторі.

Джерело всіх парадоксів

ГОРЕЗВІСНИЙ МАТЕРИНСЬКИЙ ПАРАДОКС (іноді він фігурує під іншою назвою) виникає тоді, коли люди або об'єкти подорожують у часі в минуле і змінюють його. Простий приклад – зіткнення бильярдних куль. Одна з куль проходить через тунельну машину часу. Вилетівши з неї у минулому, вона влучає в себе і не дає собі ж потрапити в тунель.

РОЗГАДКА ПАРАДОКСА впливає з усвідомлення простої речі: бильярдна куля не може зробити щось, що не узгоджується з логікою або законами фізики. Вона не може пройти крізь тунель так, щоб перешкодити собі пройти крізь нього. Але ніщо не заважає їй пройти крізь тунель якимось іншим способом.



Просторово-часовий тунель вперше описав у 1985 році Карл Саган у романі “Контакт”. Ідея Сагана надихнула Кіпа Торна і його співробітників з Каліфорнійського технологічного інституту з'ясувати, чи узгоджуються

просторово-часові тунелі із сучасною фізикою. Відправним пунктом стала аналогія між тунелем і чорною дірою – об'єктами із жахливою силою тяжіння. Але, на відміну від чорної діри, яка пропонує подорож лише в один кінець, тунель матиме не тільки вхід, але й вихід.

ІСНУЮЧІ ФОРМИ ЧАСОВИХ ПОДРОЖЕЙ У МАЙБУТНЄ		
СИСТЕМА	ХАРАКТЕРИСТИКИ	СУКУПНЕ СПОВІЛЬНЕННЯ ЧАСУ
Авіапереліт	920 км/год упродовж 8 год	10 нс (відносно інерційної системи відліку)
Рейс атомного підводного човна	300-метрова глибина протягом шести місяців	500 нс (відносно рівня моря)
Нейтрон космічного випромінювання	1018 електрон-вольтів	Середній час життя зростає від 15 хв до 30 000 років
Нейтронна зоря	Червоне зміщення становить 0,2	Часові інтервали збільшуються на 20% (відносно відкритого космосу)

У петлі

Щоб могли скористатися просторово-часовим тунелем, він має містити, за словами Торна, екзотичну матерію. По суті, це щось таке, що генерує антигравітацію, яка протидіятиме природній тенденції масивної системи під дією власної величезної маси стиснутися у чорну діру. Джерелом антигравітації (гравітаційного відштовхування) може стати від'ємна енергія або тиск. Як відомо, від'ємні енергетичні стани існують у певних квантових системах. Це наводить на думку, що торнівська екзотична матерія не суперечить законам фізики, хоча неясно, чи вдасться створити достатню кількість антигравітаційної речовини, щоб стабілізувати просторово-часовий тунель [див. статтю Лоуренса Форда і Томаса Романа у січневому числі *Scientific American* за 2000 рік].

Невдовзі Торн усвідомив: якщо створити стабільний просторово-часовий тунель, його можна легко перетворити на машину часу. Проїшовши таким тунелем, астронавт може опинитися не лише в абсолютно іншій точці Всесвіту, але й в іншому часі — у майбутньому чи в минулому.

Щоб адаптувати просторово-часовий тунель до подорожей у часі, один із його виходів треба відбуксувати до нейтронної зорі й розташувати біля її поверхні. Гравітація зорі сповільнить плин часу поблизу цього виходу з тунелю. Надалі між кінцями тунелю поступово накопичуватиметься різниця часу. Якщо ж потім обидва виходи просторово-часового тунелю розташувати в потрібному місці Всесвіту, різниця часу збережеться.

Нехай ця різниця становить 10 років. Проходячи через тунель в одному напрямі, астронавт стрибне на 10 років у майбутнє, а його колега, що проходить в іншому напрямі, стрибне на 10 років у минуле. Повертаючись до точки старту з високою швидкістю й рухаючись у звичайному просторі, другий астронавт може повернутися додому ще до початку своєї подорожі. Інакше кажучи, замкнена у просторі петля може стати ще й петлею в часі. Є тільки

перешкоджає йому бути частиною свого минулого. Нехай мандрівник повертається в минуле й рятує маленьку дівчинку від смерті. Ця дівчинка виростає і стає його матір'ю. Причинно-наслідкова петля стає несуперечливою. Вона більше не парадоксальна. Причинно-наслідкова узгодженість може накладати обмеження на можливі вчинки мандрівника, але не унеможливує самої подорожі в часі.

І хоча подорож у часі не є річчю всуціль парадоксальною, вона напевно є таємничою. Нехай мандрівник у часі перестрибує в майбутнє на рік і дізнається про нову математичну теорему, надруковану в майбутньому числі *Scientific American*. Він запам'ятовує подробиці, повертається у свій час і розповідає про теорему студентові, який далі друкує статтю в *Scientific American*. Це, звичайно ж, та стаття, яку прочитав мандрівник. Постає запитання: звідки взялася інформація про теорему? Не від мандрівника, оскільки він прочитав її в журналі, але й не від студента, який дізнався про неї від мандрівника. Здається, що інформація виникла з нічого і безпричинно.

Чудернацькі наслідки часової подорожі змусили деяких науковців повністю відкинути думку про її реалізацію. Сте-

Ймовірно, наступне покоління прискорювачів елементарних частинок зможе створити субатомні зоряні ворота.

одне обмеження: астронавт не може повернутися у час, коли тунель ще не побудували.

Невирішеною проблемою, що стоїть на заваді створення тунельної машини часу, є сам просторово-часовий тунель. Можливо, простір пронизаний такими тунелями — реліктами Великого Вибуху. Якщо це так, то високорозвинена цивілізація може його використати. З іншого боку, тунелі можуть природно виникати у крихітних масштабах, на так званій планківській довжині, що майже у 10^{20} разів менша за діаметр атомного ядра. У принципі, такий крихітний тунель можна стабілізувати енергетичним імпульсом, а далі якось розтягнути до потрібних розмірів.

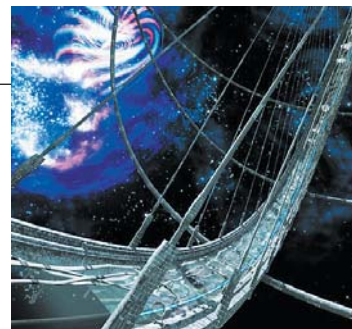
Заборонено цензурою!

Припустимо, інженерні проблеми вдалося вирішити. Тоді створення машини часу могло б відкрити скриню Пандори причинно-наслідкових парадоксів. Нехай мандрівник у часі вирушає в минуле, де, скажімо, випадково вбиває свою матір, коли та була ще маленькою дівчинкою. Чи має це сенс? Якщо дівчинка гине, вона не зможе у майбутньому стати матір'ю мандрівника. Але якщо мандрівник у часі ніколи не народжувався, то він не міг повернутися в часі й убити матір.

Такі парадокси виникають при спробі мандрівника у часі змінити минуле, що очевидно неможливо. Але це не

фан Гокінг із Кембриджського університету висунув гіпотезу “захисту хронології”, яка забороняє виникнення причинно-наслідкових петель. Оскільки теорія відносності, як відомо, дозволяє такі петлі, захист хронології вимагатиме втручання іншого фактора, що зважатиме подорожам у минуле. Що може стати таким фактором? Можливо, тут будуть задіяні квантові процеси. Існування машин часу дозволить частинкам потрапляти у їхнє минуле. Математичні розрахунки підказують, що подальше збурення стане ланцюговим, створюючи неконтрольовану хвилю енергії, яка зруйнує тунель.

Захист хронології все ще залишається гіпотезою, тому подорож у часі нібито можлива. Ймовірно, остаточно цю проблему буде розв'язано після успішного об'єднання квантової механіки і теорії гравітації з використанням теорії струн та її доповнення (так званої М-теорії). Можливо, прискорювачі елементарних частинок наступного покоління зможуть створити субатомні тунелі, що існуватимуть достатньо довго для проходження сусідніми частинками причинно-наслідкових петель. Це значно відрізнятиметься від веллсівського бачення машини часу, але назавжди змінить картину фізичної реальності. ГД



Від миттєвої

Одиниці виміру часу охоплюють надзвичайно широкий діапазон – від нескінченно короткого до надзвичайно довгого. Наведені тут описи – спроба донести читачеві відчуття безмежності хронологічної шкали.

ОДНА АТОСЕКUNDA (одна мільярдна мільярдної частки секунди)

Найнетривкіші події, що їх зуміли зафіксувати науковці, вимірюються аттосекундами. За допомогою надскладних високошвидкісних лазерів дослідники отримали імпульси світла, що тривають лише 250 аттосекунд. Хоч цей інтервал і здається неймовірно коротким, він – ціла вічність порівняно з часом Планка (близько 10^{-43} секунди), який вважають найкоротшим із можливих відтинків часу.

ОДНА ФЕМТОСЕКUNDA (одна мільйонна мільярдної частки секунди)

Атом у молекулі зазвичай здійснює одне коливання за 10-100 фемтосекунд. Для проходження навіть дуже швидких хімічних реакцій потрібно кілька сотень фемтосекунд. Процес, що лежить в основі зору, – взаємодія світла з пігментами сітківки – триває близько 200 фемтосекунд.

ОДНА ПІКОСЕКUNDA (одна тисячна мільярдної частки секунди)

Найшвидші транзистори працюють у пікосекундному діапазоні. Нижній кварк – рідкісна субатомна частинка, утворена у високошвидкісних прискорювачах, – живе одну пікосекунду, після чого розпадається. Середній час життя водневого зв'язку між молекулами води при кімнатній температурі становить три пікосекунди.

ОДНА НАНОСЕКUNDA (мільярдна частка секунди)

За цей час промінь світла пройде у вакуумі лише 30 сантиметрів. На виконання простої дії (наприклад, додавання двох чисел) мікропроцесор персонального комп'ютера затрачає від двох до чотирьох наносекунд. Ще одна рідкісна субатомна частинка, К-мезон, живе впродовж 12 наносекунд.

ОДНА МІКРОСЕКUNDA (мільйонна частка секунди)

Той самий промінь світла тепер подолає 300 метрів – три футбольні поля, проте звукова хвиля на рівні моря пошириться лише на одну третину міліметра. Спалах високошвидкісного комерційного стробоскопа триває близько однієї мікросекунди. Паличка динаміту вибухне через 24 мікросекунди після догорання її запалу.

ОДНА МІЛІСЕКUNDA (тисячна частка секунди)

Найкоротший час експозиції звичайного фотоапарата. Хатня муха змахує крилами приблизно раз на три мілісекунди, а бджола – раз на п'ять мілісекунд. Щороку тривалість обертання Місяця навколо Землі збільшується на дві мілісекунди, оскільки його орбіта поступово розширюється. Інтервал у 10 мілісекунд – це “миль” (“jiffy”) у комп'ютерній термінології.

ОДНА ДЕСЯТА СЕКUNДИ

Саме стільки потрібно, щоб “змигнути оком”. За цей час людське вухо може розрізнити луну від первинного звуку. “Вояджер 1”, космічний апарат, що покидає Сонячну систему, віддалиться від Сонця ще на два кілометри. Колібри сім разів змахне крилами. Камертон, настроєний на “ля” першої октави, зробить чотири коливання.

ОДНА СЕКUNDA

Тривалість серцебиття здорової людини. За цей час американці з'їдають 350 шматочків піщи. Земля пройде 30 кілометрів навколо Сонця, а Сонце – 274 кілометри на своєму шляху через Галактику. Секунди недостатньо, щоб місячне сяйво досягнуло Землі (потрібно 1,3 секунди). Традиційно секундою вважали одну шістде-



ГО ДО ВІЧНОГО

сяту однієї шістдесятої однієї двадцять четвертої частини доби, проте сьогодні наука дає точніше визначення. Це — тривалість 9 192 631 770 циклів одного з різновидів випромінювання, утвореного атомом цезію-133.

ОДНА ХВИЛИНА

За цей час маса мозку новонародженої дитини збільшується на два міліграми. Крихітне серце землерийки зробить 1000 ударів. Пересічна людина може вимовити 150 слів або прочитати 250. Сонячне світло досягає Землі приблизно за вісім хвилин. Коли Марс максимально наближається до Землі, сонячне світло, відбите від поверхні Червоної Планети, ми побачимо приблизно за чотири хвилини.

ОДНА ГОДИНА

Клітинам у процесі відтворення цього достатньо, щоб поділитися надвоє. Між виверженнями Старого Точного гейзера в Єллоустоунському Національному Парку проходить одна година і 16 хвилин. Світло від Плутона, найвіддаленішої планети Сонячної системи, досягає Землі за п'ять годин і 20 хвилин.

ОДНА ДОБА

Тривалість обертання Землі навколо своєї осі — найприродніша, мабуть, одиниця часу для людини. Обертання нашої планети постійно сповільнюється внаслідок гравітаційного гальмування Місяця та інших впливів; сьогодні один оберт триває 23 години 56 хвилин і 4,1 секунди. Серце людини робить близько 100 000 скорочень, а легені вдихають близько 11 000 літрів повітря. За той самий час дитинча синього кита додає у вазі 80 кілограмів.

ОДИН РІК

Земля здійснює один повний оберт навколо Сонця і 365,26 оберти навколо власної осі. Середній рівень океанів підвищується на 1-2,5 міліметри, а Північна Америка віддаляється від Європи майже на три сантиметри. Світло від найближчої зірки Проксими Центавра досягає Землі за 4,3 роки. Приблизно за стільки ж часу поверхневі течії океану повністю обходять навколо земної кулі.

ОДНЕ СТОРІЧЧЯ

Місяць віддаляється від Землі ще на 3,8 метра. Вважають, що звичайні компакт-диски за цей час зруйнуються. Одна людина із 26 народжених після Другої світової війни має шанс дожити до ста років, тоді як гігантські черепахи можуть “протягнути” й 177 років. Найдосконаліші записи на компакт-дисках можуть зберігатися більш ніж 200 років.

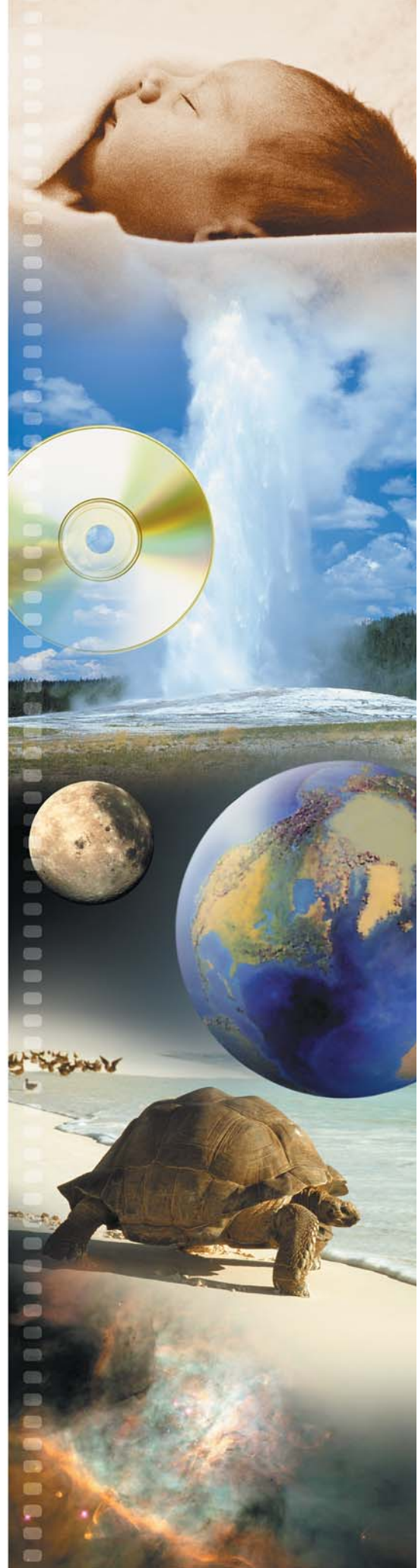
ОДИН МІЛЬЙОН РОКІВ

Космічний корабель, рухаючись зі швидкістю світла, не подолає й половини шляху до найближчої галактики Андромеди (для цього потрібно 2,3 мільйони років). За цей час згоряють наймасивніші зорі — сині супергіганти, що в мільйони разів яскравіші за Сонце. Внаслідок руху тектонічних плит через мільйон років Лос-Анджелес опиниться приблизно на 40 кілометрів північно-східніше порівняно з теперішнім його розташуванням.

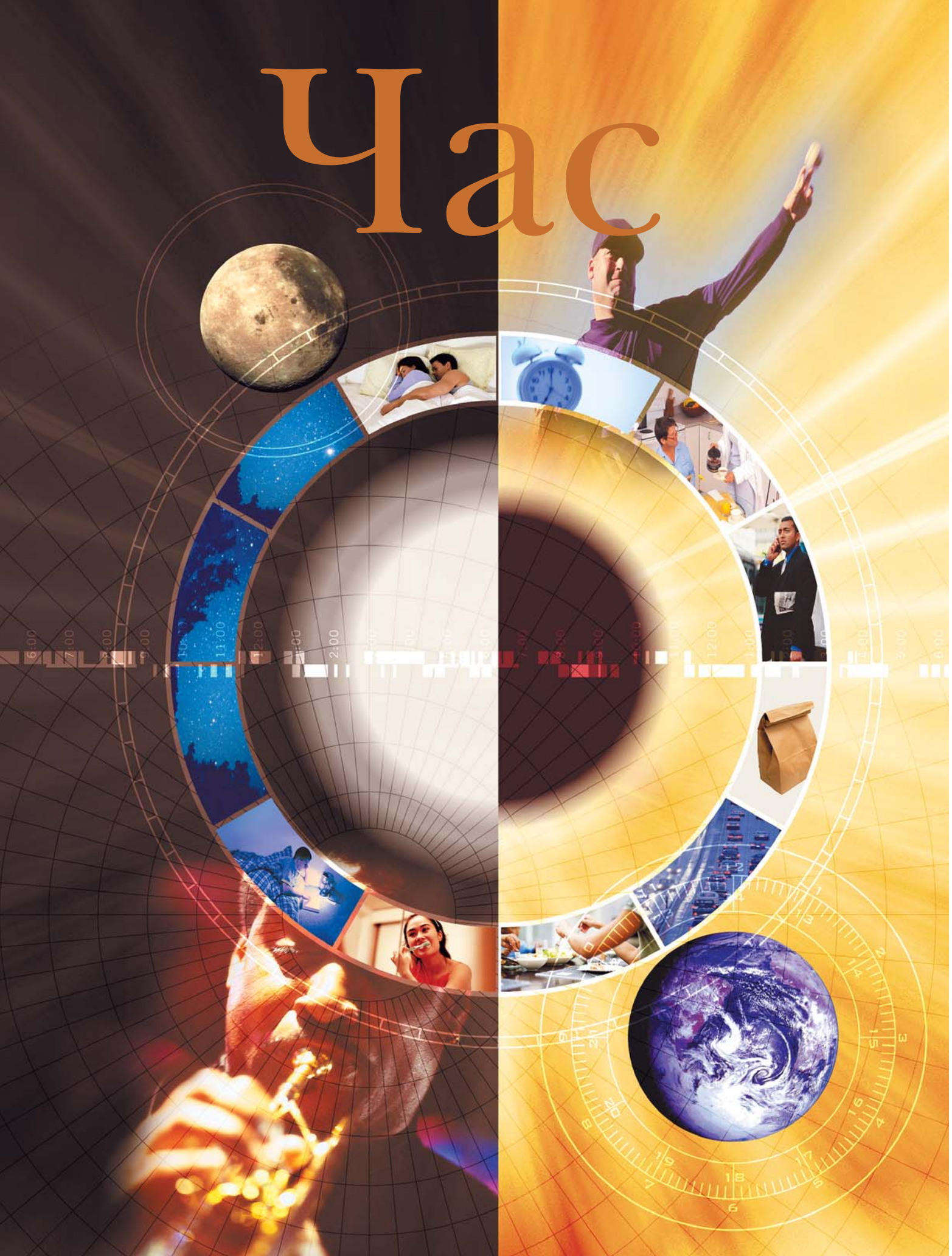
ОДИН МІЛЬЯРД РОКІВ

Приблизно за цей час новоутворена Земля вистигла, утворила океани, дала початок одноклітинному життю та змінила свою первісну, багату на діоксид вуглецю, атмосферу на багату на кисень. Тим часом Сонце чотири рази обернулося навколо центру Галактики. Оскільки вік Всесвіту не перевищує 12-14 мільярдів років, то одиниці часу, більші за мільярд років, вживаються нечасто. Проте космологи переконані, що Всесвіт, очевидно, розширюватиметься нескінченно, поки не загине остання зірка (через 100 трильйонів років) і не випарується остання чорна діра (через 10^{100} років). Майбутнього попереду набагато більше, ніж залишилося позаду минулого.

Цей список уклав Девід Лабрадор, журналіст і дослідник.



Час



НАШОГО ЖИТТЯ

Відраховуючи хвилини, місяці й роки, біологічні годинники визначають ритм роботи нашого тіла і душі

Карен Райт

“Первісний контекст” – таке визначення часу запропонував нині покійний біопсихолог Джон Гіббон.

Існування часу – життєвий факт, що його відчуває будь-який організм будь-якої ери за будь-яких обставин. Відлік часу – понад усе! Це стосується як гусей, що відлітають восени у вирій, так і квітів в’юнка, які розкривають пелюстки на світанку. Як сарани, що роїться кожних 17 років, так і примітивних слизовиків, які спорують за денними циклами. Людське тіло також підпорядковане біологічним годинникам, які відстежують течію секунд, хвилин, днів, місяців та років. Вони керують вашими блискавичними рухами під час тенісної подачі, відповідають за розлади здоров’я, спричинені переміщеннями між часовими поясами, збуджують щомісячні коливання статевих гормонів при менструації і викликають напади зимової депресії. Зрештою, клітинні хронометри вирішують навіть те, коли вибіжить ваш час. Годинник життя перестає цокати, і настає смерть.

Механізми контролю часу настільки ж різноманітні, як і моделі годинників і таймерів. Деякі – непорушні у своїй точності, решта – не такі надійні, проте їх можна свідомо контролювати. Одні налаштовані на планетарні цикли, інші – на молекулярні. Усі вони життєво необхідні мозкові й іншим частинам тіла для здійснення найскладніших операцій. Можливо, в цих годинникових механізмах прихована

таємниця процесів старіння та різноманітних захворювань – адже з дефектами біологічних годинників пов’язують не тільки сезонні напади депресії й дефіцит уваги, але й рак та хворобу Паркінсона.

Фізіологія цих хронометрів маловивчена, хоча нейрологи та інші “годинникарі” вже знайшли перші відповіді на найгостріші запитання, викликані досвідом перебування людини у четвертому вимірі. Чому, наприклад, чайник ніколи не закипає, поки ви за ним спостерігаєте? Чому за цікавим заняттям час збігає швидко? Чому, харчуючись у нічних нон-стопах, можна заробити розлад травлення? Врешті-решт, чому люди живуть довше за хом’ячків? Досліджуючи біологічні годинники, ми зможемо відповісти й на складніші запитання, що стосуються проблем існування в часі. Коли саме – питання часу.

Психоактивний таймер

За читанням цієї статті час пролетить швидко, якщо вона вас заінтригує, або ж затягнеться, якщо видасться нудною. Це – жарти мозкового “секундоміра”, або так званого інтервального таймера. Він вимірює проміжки часу тривалістю від секунд до годин. Інтервальный таймер допомагає нам розрахувати швидкість бігу,

щоб мизмогли упіймати бейсбольний м’яч. Він підказує, коли плескати у долоні в такт улюбленій пісні і скільки ще можна поніжитися в ліжку після того, як прозвенів будильник.

Відлік часових інтервалів використовує вищі пізнавальні процеси кори головного мозку. Ця частина мозку керує сприйняттям, пам’яттю і свідомим мисленням. Наприклад, наближаючись до світлофора на жовте світло, ви спостерігаєте, як довго горітиме жовте й порівнюєте це зі звичною тривалістю жовтих сигналів, збереженою в пам’яті. “Тоді необхідно вирішити, їхати далі чи натиснути на гальма”, – каже Стівен Рао з Вісконсінського медичного коледжу.

Використовуючи у своїх дослідженнях функціональну магнітно-резонансну томографію (fMRI), Рао виявив частини мозку, задіяні на кожній із цих стадій. Перебуваючи в fMRI-томографі, підслідний прослуховує дві пари звуків і намагається вирішити, чи інтервали між звуками першої та другої пари однакові. Структури мозку, що виконують це завдання, споживають більше кисню, ніж усі інші, тому їх можна виявити fMRI-скануванням, яке фіксує зміни кровопостачання й потоку кисню кожних 250 мілісекунд. “При цьому першими активуються такі структури мозку, як базальні ганглії”, – каже Рао.

Тривалий час що ділянку мозку вважали відповідальною за рухи, а нещодавно вона стала першим кандидатом у дослідженнях механізмів, що вимірюють часові інтервали. Одна з ділянок базальних гангліїв — смугасте тіло — містить популяцію добре сполучених нервових клітин, які отримують сигнали з інших частин головного мозку. Довгі відростки клітин смугастого тіла вкриті шипами (їх може бути від 10 000 до 30 000), кожен з яких збирає інформацію від іншого нейрона, розташованого деінде. Якщо порівняти роботу мозку із мережею, то шипуваті нейрони смугастого тіла є її критичними вуз-

ють у натовпі. Жоден із них не синхронізований з іншим”.

Осцилятори кори сполучені зі смугастим тілом мільйонами гілок, що переносять сигнали, тому шипуваті нейрони можуть “підслухувати” всі їхні випадкові “розмови”. Раптом щось (наприклад, жовте світло світлофора) привертає увагу кіркових клітин. Стимуляція викликає одночасне збудження всіх нейронів кори, внаслідок чого через 300 мілісекунд виникає характерний пік електричного вихідного потоку. Цей пік діє як стартовий сигнал, після якого кіркові клітини відновлюють свої безладні осциляції.

ний імпульс від смугастого тіла до іншої частини мозку — таламуса. Таламус, своєю чергою, сигналізує корі головного мозку, де активуються такі вищі пізнавальні функції, як пам’ять і прийняття рішень. Таким чином, механізм відліку часу циклічний: від кори до смугастого тіла й таламуса, і назад — до кори.

Якщо Мек має рацію й дофамінова стимуляція справді відіграє важливу роль у впізнаванні меж часового інтервалу, то захворювання або препарати, які впливають на рівень дофаміну, також повинні порушувати цей цикл. Ось що виявив Мек та інші дослідни-

“Існує унікальний часовий відбиток для будь-якого інтервалу, який тільки можна собі уявити”.

(Уоррен Мек, Університет Дюка)

лами. За словами Уоррена Мека з Університету Дюка, “це одне з небагатьох місць у мозку, де можна побачити, як відростки тисяч нейронів сходяться воедино”.

Шипуваті нейрони смугастого тіла посідають чільне місце в теорії відліку часових інтервалів, яку протягом останнього десятиріччя розвинув Мек у співпраці з Гіббоном (до своєї смерті той працював у Колумбійському університеті). В її основі — робота сукупності нейронних осциляторів у корі головного мозку, які видають імпульси з різними частотами, незважаючи на ритм своїх сусідів. Справді, багато клітин кори за відсутності зовнішньої стимуляції генерують імпульси з частотою від 10 до 40 циклів за секунду. “Кожен із цих нейронів осцилює по-своєму, — каже Мек, — наче люди, що розмовля-

Але оскільки осциляція почалася одночасно, то тепер цикли утворюють чітку відтворювану картину активації нейронів від моменту до моменту. Шипуваті нейрони стежать за цими картинами, що допомагає їм “відрахувати” час. По закінченні специфічного інтервалу (наприклад, коли на світлофорі спалахує червоне світло), частина базальних гангліїв — так звана чорна речовина — активує смугасте тіло нейромедіатором дофаміном. Дофамінова хвиля індукує запис картини кіркових осциляцій, яку в цей момент отримують шипуваті нейрони. Це можна порівняти зі спалахом, який експонує картину часового інтервалу на “плівці” шипуватих нейронів. “Існує унікальний часовий відбиток для будь-якого інтервалу, який тільки можна собі уявити”, — каже Мек.

Після того як шипуватий нейрон запам’ятав часовий штамп інтервалу для певної події, щоразу, коли ця подія повторюється, відбувається синхронний пік імпульсації кіркових нейронів і викид дофаміну на початку інтервалу [див. верхню ілюстрацію на протилежній сторінці]. Дофаміновий імпульс дає команду шипуватим нейронам почати відстеження картини кіркових осциляцій, які її супроводжують. Упізнавши часовий штамп, що відповідає закінченню інтервалу, вони посилають електрич-

ки. У пацієнтів з нелікованою хворобою Паркінсона в смугасте тіло виділяється менше дофаміну, тож їхні біологічні годинники відстають. Під час дослідів ці пацієнти постійно недооцінюють тривалість часових інтервалів. Морихуана також обмежує кількість доступного дофаміну. Натомість стимулятори на кшталт кокаїну чи метамфетаміну збільшують приплив дофаміну й прискорюють інтервальний таймер — течія часу сповільнюється. Адреналін та інші стресові гормони також прискорюють біогодинник, тому в стресових ситуаціях секунда може здаватися годинами. Стани глибокого зосередження або надмірного збудження можуть як перенасичувати систему дофаміном, так і обмежувати його потік. У таких випадках здається, що час зупиняється або що його взагалі немає. Оскільки пік зосередження уваги ініціює процес відліку часу, Мек вважає, що люди з дефіцитом уваги та гіперактивністю також повинні мати проблеми з вимірюванням реальної довжини часових інтервалів.

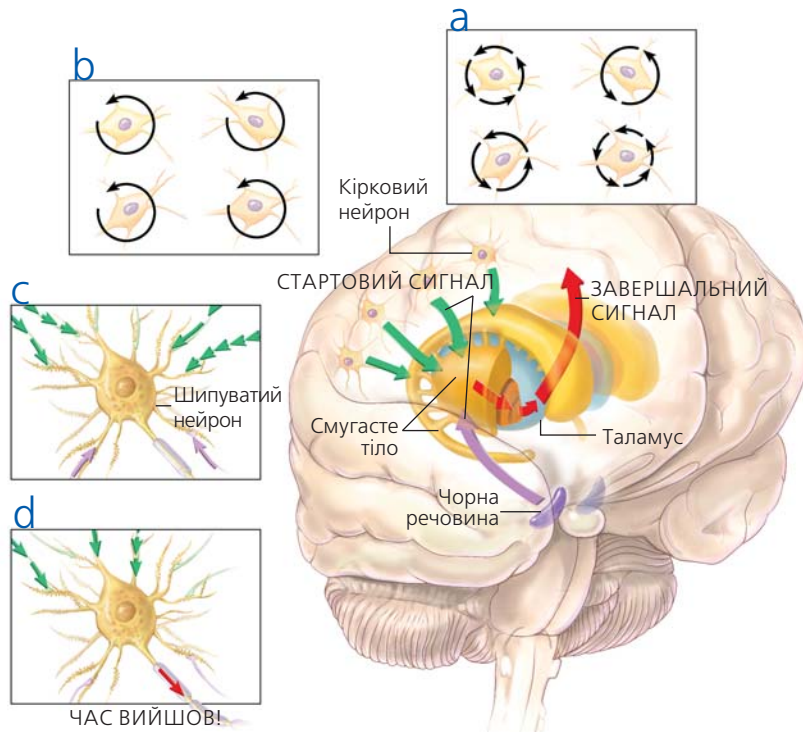
Спеціальні тренування можуть підвищити точність інтервального таймера. Це добре відомо музикантам і спортсменам. Пересічним людям доводиться застосовувати примітивніші прийоми на кшталт хронометричної лічби, аби компенсувати нестачу цього механізму.

Огляд

- “Таймер” у мозку може лічити секунди, хвилини і години.
- Інший годинник синхронізує численні функції організму з циклами дня і ночі. Він також може бути причиною сезонного афективного розладу.
- Молекулярний хронометр, який встановлює кількість клітинних поділів, може обмежувати тривалість життя.

Годинники мозку

Науковці досліджують роботу двох нервових годинників: інтервального таймера (рисунок вгорі), який вимірює інтервали тривалістю до години, і циркадного годинника (внизу), який відповідає за 24-годинні цикли посилення та спаду активності процесів організму.

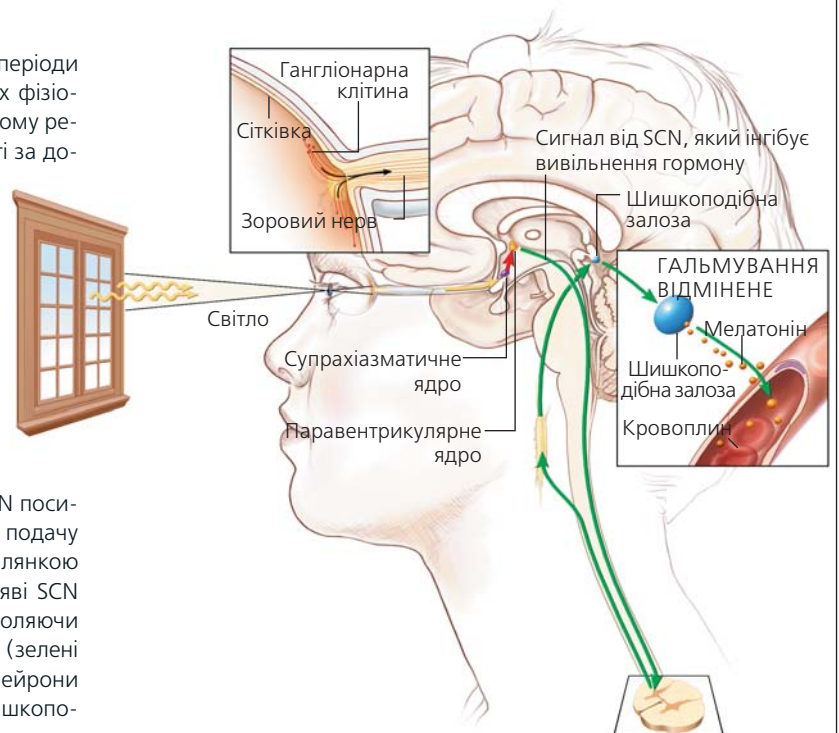


Інтервальный таймер

Відповідно до однієї з моделей, початок події, яка триває упродовж певного проміжку часу (наприклад, вмикання чотирисекундного жовтого світла світлофора), активує старт таймера, викликаючи подвійну відповідь у мозку. Він індукує певну кількість кіркових нервових клітин, які до цього осцилювали з різною частотою (а), змушуючи їх утворити одночасний імпульс (b і зелені стрілки на зображенні мозку). Крім того, нейрони чорної речовини вивільняють нейромедіатор дофамін (фіолетові стрілки). Обидва сигнали впливають на шипуваті клітини смугастого тіла (c), які починають відстежувати загальну картину імпульсів кіркових клітин після відновлення нейронами осциляції різної частоти. Оскільки кіркові клітини працюють синхронно на початку інтервалу, наступні осциляції мають той самий вигляд і унікально поєднуються при досягненні кінця знайомого інтервалу певної тривалості (d). Потім смугасте тіло посилає сигнал про закінчення часового інтервалу (червоні стрілки) в кору головного мозку, яка на підставі цього приймає рішення про відповідні дії.

Циркадний годинник

Денні цикли світла і темряви впливають на періоди найбільшої та найменшої активності багатьох фізіологічних процесів, що протікають у 24-годинному режимі. Мозок сприймає коливання освітленості за допомогою гангліонарних клітин сітківки ока. В інших клітинах пігмент меланопсин виявляє світло, змушуючи гангліонарні клітини сітківки посылати сигнал про його яскравість і тривалість у супрахіазматичні ядра мозку (SCN). Тоді SCN розсилають цю інформацію до інших частин мозку, які контролюють циркадні процеси. Найкраще дослідники вивчили події, які викликають секрецію шишкоподібною залозою мелатоніну, який іноді називають гормоном сну (див. діаграму). Реагуючи на денне світло, SCN посилає сигнали (червона стрілка), які зупиняють подачу імпульсу про утворення мелатоніну іншою ділянкою мозку – паравентрикулярним ядром. У темряві SCN вимикають цей гальмівний механізм, дозволяючи подачу сигналу про вивільнення мелатоніну (зелені стрілки) паравентрикулярним ядром через нейрони верхньої частини спинного мозку й шиї до шишкоподібної залози.



terese winslow

Рао забороняє підослідним рахувати під час експериментів, оскільки це може активувати центри мозку, пов'язані з мовою. Щоправда, лічба дуже добре виявляє тих, хто не дотримується правил. “Ефект настільки драматичний, що лише на основі точності їхніх відповідей можна визначити — рахують вони чи чесно визначають час”.

Сонячний годинник у нашому тілі

Одна з властивостей інтервального таймера — гнучкість його роботи. Відлік часу можна починати і зупиняти за бажанням, а можна взагалі проігнорувати. Таймер може працювати підсвідомо, але його можна й контролювати. Щоправда, не він чемпіон з акуратності. Виявилось, що точність інтервальних таймерів має

стимулу для роботи. Спостереження за добровольцями, які мешкали у печерах, та за іншими “підослідними кроликами” показали, що циркадні ритми продовжують діяти навіть за відсутності денного світла, без звичних занять і вживання кофеїну. Вони працюють у кожній клітині тіла. Постійно освітлені людські клітини, обмежені чашкою Петрі, продовжують жити за 24-годинним циклом активності генів, секреції гормонів та виробництва енергії. Ці цикли жорстко прив'язані й змінюються не більше, ніж на один відсоток, тобто лише на кілька хвилин за день.

Хоч для встановлення циркадного циклу світла не потрібно, без нього неможливо обійтися при синхронізації фаз жорстко настроєного біологічного годинника з природними циклами дня. Як і звичайний годинник, який відстає

Щоправда, останні відкриття змушують учених дещо переглянути роль SCN у циркадних ритмах. Досі науковці вважали, що SCN певним чином координують всі індивідуальні клітинні годинники в тканинах та органах тіла. Згодом, у середині 1990-х років дослідники віднайшли чотири гени, що впливають на циркадні цикли у мишей, дрозофіл та людей. Ці гени працюють не лише в SCN, але і в решті тканин. “Годинникові гени експресуються у всьому тілі, в кожній тканині, — каже Джозеф Таканаші з Північно-Східного університету. — Ми цього не очікували”.

Цього року дослідники з Гарвардського університету показали, що експресія понад 1000 генів у тканинах серця і печінки мишей змінюється відповідно до регулярних 24-годинних періодів. Проте гени, що виявляли такі

Одна із властивостей інтервального таймера — гнучкість його роботи. Відлік часу можна починати і зупиняти за бажанням.

похибку від 5 до 60 відсотків. Крім того, їхня робота погіршується, якщо ви роздратовані або збуджені. Похибки відліку зростають зі збільшенням часового інтервалу. “Ось для чого ці прилади, які ми носимо на руці”, — каже Рао.

На щастя, 24-годинні інтервали відмірює точніший годинник. Він називається циркадним (від лат. *circa* — “навколо” і *diem* — “день”) і налаштовує наші організми на цикли світла й темряви, спричинені обертанням Землі. Циркадний годинник допомагає програмувати звички щоденного сну вночі та пробудження вранці, хоча його вплив цим не обмежується. Температура тіла регулярно підвищується надвечір і знижується за декілька годин до того, як ми прокидаємося вранці. Тиск крові зазвичай підвищується між 6 та 7 годинами ранку. Секреція стресового гормону кортизолу в 10-20 разів вища вранці, ніж уночі. Сечовиділення та перистальтика сечового міхура, як правило, пригнічуються ввечері й відновлюються вранці.

Циркадний хронометр більше нагадує годинник, ніж інтервальный таймер, оскільки не вимагає зовнішнього

або поспішає на кілька хвилин щодня, циркадний годинник треба постійно налаштовувати, щоб він ішов точно. Сьогодні неврологи значно краще розуміють, як денне світло настроює біогодинник. Місцем розташування останнього довго вважали два скупчення в гіпоталамусі по 10 000 нейронів кожен. Десятиріччя досліджень з використанням тварин показали, що ці центри (супрахізматичні ядра, або SCN) керують денними коливаннями кров'яного тиску, температури тіла, рівня активності й збудливості. SCN також контролюють викид шишкоподібною залозою мелатоніну, який викликає сон у людей і секретується тільки вночі.

Цього року окремі групи дослідників довели, що спеціалізовані клітини сітківки ока передають інформацію про рівень освітленості до SCN. Ці клітини гангліонарного типу діють цілком незалежно від паличок і колбочок, які опосередковують зір і не такі чутливі до раптових змін освітлення. Подібна нечутливість на користь циркадній системі. Було б значно гірше, якби споглядання феєрверків або відвідання кінотеатру перешкоджало роботі механізму.

циркадні цикли, відрізняються залежно від тканини: у серці їхня експресія досягає піку в інший час, ніж у печінці. “Вони розкидані по всій генетичній карті, — каже Майкл Менакер з Університету штату Вірджинія. — Деякі досягають піку експресії вночі, деякі вранці, а деякі — вдень”.

Менакер нещодавно довів, що специфічний розпорядок харчування може змістити фазу циркадного годинника печінки, знехтувавши ритмом світла-темряви SCN. Наприклад, коли лабораторних щурів, які зазвичай харчуються коли захочуть, годували лише раз на день, пік експресії годинникового гена в печінці зсувався на 12 годин. Хоча цей же ген у SCN залишався синхронізованим зі світловим днем. Зважаючи на роль печінки у травленні, стає зрозумілим, чому денні ритми харчування впливають на неї. Дослідники вважають, що циркадні годинники в інших органах можуть реагувати й на інші зовнішні події, що трапляються кожні 24 години, — стрес, фізичне навантаження чи зміни температури. Ніхто не збирається заперечувати роль SCN, оскільки їх визначальний вплив

на температуру тіла, тиск крові та інші основні ритми не підлягає сумніву. Проте ніхто вже й не стверджує, що ці центри мозку жорстко керують периферійними біогодинниками. “Наші організми мають осцилятори, які можуть функціонувати незалежно від осциляторів у мозку”, — каже Таканаші.

Автономність периферичних годинників дещо прояснює феномен розладів після перельоту через декілька часових поясів. Якщо інтервальний таймер можна перевести миттєво, як секундомір, то циркадні ритми вимагають кількох днів або й тижнів, щоб прилаштуватися до раптові зміни тривалості дня або часового поясу. Новий світловий розклад повільно переналаштує годинник SCN, але решта годинників можуть йому не підпорядкуватися. Організм не просто відстає — він відстає за десятком різних швидкостей.

Синдром розладу після перельоту через декілька часових поясів не надто тривалий, оскільки всі різноманітні біогодинники, очевидно, згодом синхро-

нізуються. Проте люди, які працюють у нічну зміну, завсідники вечірок, студенти та інші “сови” стикаються з важкою хронодилемою. Адже фізіологічно вони живуть подвійним життям. Навіть удосталь висипаючись вдень, їхніми основними біоритмами все одно керують SCN, а тому вночі вони продовжують “спати”. “Можна спати вночі чи вдень — як захочете, — каже Альфред Леві з Орегонського університету здоров’я та науки. — Але не можна на власний розсуд керувати рівнем свого мелатоніну, кортизолу чи температурою тіла”.

У цих людей розпорядок харчування та праці може налаштувати периферичні годинники на такі ритми, які абсолютно суперечать нормальним циклам світла-темряви і сну-неспанню. Оскільки їхні організми живуть одночасно у стількох часових зонах, не дивно, що працівники нічних змін частіше потерпають від серцево-судинних захворювань, мають розлади травлення і, звісно ж, сну.

Годинник для усіх сезонів

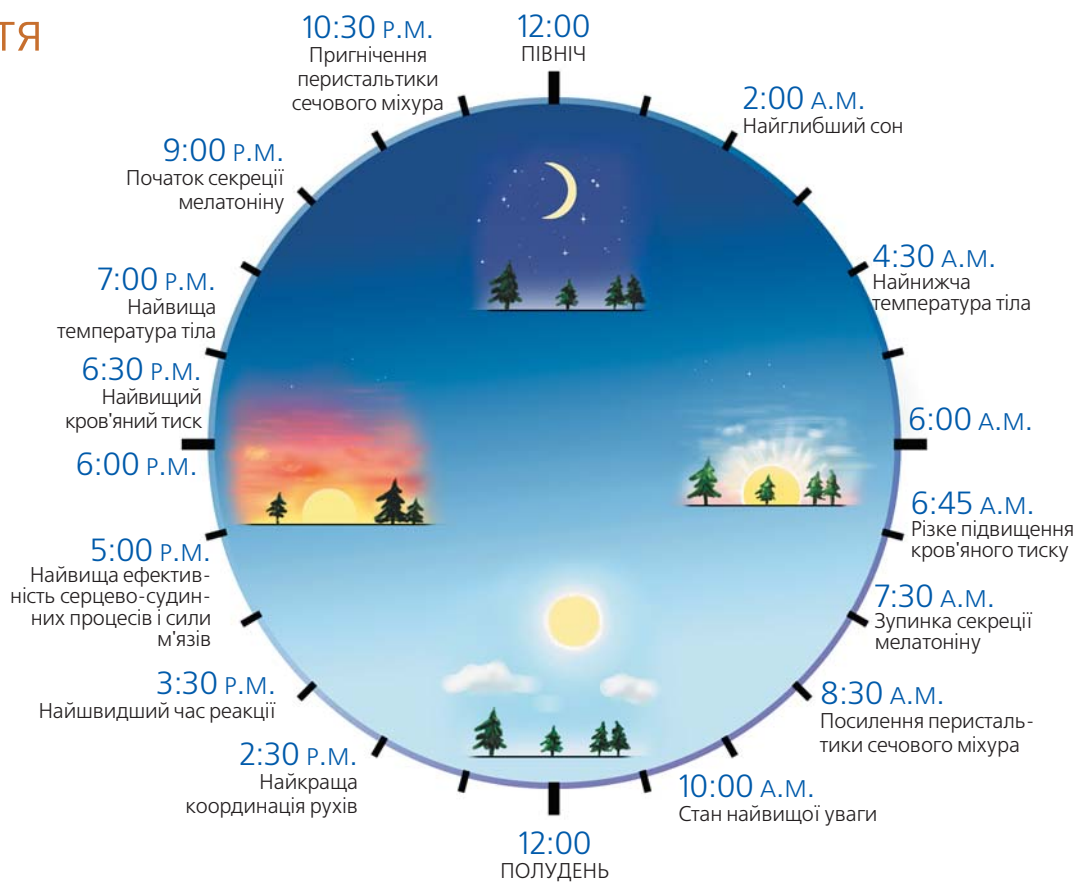
Розлади після перельоту через декілька часових поясів та робота в нічну зміну — виняткові стани, під час яких природний циркадний годинник різко випадає з фази циклів світла-темряви і сну-неспанню. Щоправда, таке трапляється щороку в міжсезоння, хоч ми й не зауважуємо цього. Дослідження показують, що навіть за різної тривалості сну люди мають звичку прокидатися вранці у той самий час протягом цілого року. Цього зазвичай вимагають їхні домашні тварини, діти, батьки або робота. А це означає, що чимало людей із північних широт взимку прокидаються за дві-три години до світанку. Їхній цикл сну-неспанню відрізняється від циклів денного світла на кілька часових зон.

Несумісність між тривалістю дня та розкладом денного життя може пояснити причини синдрому, що відомий у науці як сезонний афективний розлад (SAD). У США в період від жовтня до

ЦИКЛІЧНІ ПОДІЇ

Ритм життя

Циркадний годинник впливає на денні ритми багатьох фізіологічних процесів. Діаграма праворуч ілюструє циркадні режими, притаманні тим, хто встає рано-вранці, обідає опівдні й спить цілу ніч. Хоч циркадні ритми мають тенденцію до синхронізації з циклами світла-темряви, такі фактори, як понижена температура, години прийому їжі, стрес і фізичні навантаження, також можуть впливати на відлік часу.



SOURCE: The Body Clock Guide to Better Health, by Michael Smolensky and Lynne Lamberg, Henry Holt, 2000

березня SAD вражає кожного двадцятичного дорослого, викликаючи такі симптоми, як збільшення ваги, апатію та втому. Розлад удесятеро поширеніший на півночі, ніж на півдні. І хоча SAD — сезонний розлад, деякі експерти підозрюють, що насправді це проблеми циркадного годинника. У своїй роботі Леві припускає, що SAD-пацієнти позбулися б депресії, якби взимку прокидалися разом із сонцем. З цього погляду, SAD є не стільки патологією, скільки доказом адаптивного сезонного ритму циклів сну-неспанья. “Якби ми адаптували свої розпорядки дня відповідно до сезону, то не мали б сезонної депресії, — каже Леві. — У нас почалися неприємності тоді, коли ми перестали лягати спати із настанням сутінок і прокидатися на світанку”.

Причина невизнання сучасною цивілізацією сезонних ритмів частково полягає у тому, що люди належать до

створінь, які найменш чутливі до змін пір року. За значимістю SAD важко порівняти з річними циклами інших тварин: сплячками, линькою й особливо спарюванням — головним метрономом, який визначає час решти сезонних циклів. Ймовірно, їх також регулює циркадний годинник, який відстежує тривалість днів та ночей. Темрява, що її “впізнають” SCN та шишкоподібна залоза, продовжує мелатонінові сигнали довгими зимовими ночами й скорочує їх улітку. “Хом’яки можуть вловити різницю між днем тривалістю 12 годин і днем тривалістю 12 годин 15 хвилин за тим, що їхні сім’яники починають збільшуватися”, — каже Менакер.

Якщо сезонні ритми настільки стабільні в інших тварин, а в людей залишилася можливість їх виявляти, то чому ми їх втратили? “А чому ви думаєте, що ми взагалі їх колись мали? — запитує Менакер. — Ми ж еволюціювали

в тропіках”. Менакер має на увазі те, що багато тропічних тварин не виявляють виразних ознак сезонної поведінки. Їм це байдуже, оскільки пори року мало чим відрізняються між собою. Більшість тропічних тварин паруються, не зважаючи на сезон, оскільки немає “кращого” або “гіршого” часу, щоб народжувати потомство. Люди також завжди перебувають у теплі. Коли протягом сторіч наші предки дедалі більше “приручали” й контролювали своє довкілля, зміна сезонів стала для них менш важливим еволюційним рушієм.

Проте один із аспектів розмноження людини все-таки залишається циклічним: у жінок, як і в інших самок приматів, яйцеклітини утворюються лише раз на місяць. Годинник, який регулює овуляцію та менструацію, — це добре вивчений хімічний механізм зі зворотною регуляцією, на який можуть впливати гормони, фізичні навантаження і навіть присутність іншої жінки в період менструації. Причини специфічної тривалості менструального циклу все ще нез’ясовані. Той факт, що вона збігається з тривалістю місячного циклу, — не більш ніж парадокс, обґрунтувати який візьметься мало хто із серйозних науковців. Досі не знайдено жодного переконливого зв’язку між енергією гравітації чи випромінюванням Місяця та рівнем жіночих статевих гормонів. Зважаючи на це, місячний менструальний годинник залишається великою таємницею. Більшою загадкою є хіба що сама смерть.

Час-месник

Люди звикли ототожнювати старіння з раком, серцевими захворюваннями, остеопорозом, артритом чи хворобою Альцгеймера — так, наче без цих недуг ми одразу стали б безсмертними. Біологія пропонує інші пояснення.

Прогнозована тривалість життя мешканця сучасної розвинутої країни перевищує 70 років. Водночас середньостатистичний метелик-ефемера пурхає лише одну добу. Біологи щойно починають досліджувати причини різної тривалості життя у різних видів. Тож якщо ваші дні пораховані, з’являється непереборне бажання дізнатися: а чому саме стільки?

СЕЗОННІ ГОДИННИКИ



Цикл за циклом

Більшість тварин переживають драматичні сезонні цикли: вони мігрують, впадають у сплячку, спарюються й линяють у певні періоди року (чотири верхні світліни). Наприклад, статеві залози хом’яків збільшуються у чотири рази, коли наближається сезон спарювання.

Ці цикли визначені дуже жорстко: бурундуки продовжують впадати в сезонну сплячку, навіть якщо навколо постійна температура й незмінні періоди світла і темряви. Так само й птахи у стабільних лабораторних умовах непокояться у період міграції й продовжують линяти і набирати вагу за річними циклами.

Єдиним залишком сезонності у людини може бути сезонний афективний розлад — щорічний напад депресії у деяких людей взимку. Його можна лікувати світловою терапією (нижнє фото), але найкращий спосіб — вставати разом із сонцем.

TOM DRAPER DESIGN; FRANS LANTING Minden Pictures (swans and butterflies); GEORGE MCCARTHY Cobis (mouse); MARK JONES Minden Pictures (penguin); NAJIAH FEANNY SABA (light therapy)

Учасники нещодавньої зустрічі в Національному інституті старіння висунули чимало різних припущень щодо причин, які визначають природну тривалість життя. Вона не може залежати лише від генетичних особливостей виду. Наприклад, робочі бджоли живуть декілька місяців, тоді як матки — роками. Проте генетика важлива й тут: мутація одного гена у миші подвоює тривалість її життя. Високий рівень метаболізму може вкорочувати життя, хоча багато видів

це кількість клітинних поділів”. У 1997 році Седів довів, що фібробласти можна змусити поділитися ще 20-30 разів, вплинувши на один ген. Цей ген кодує білок p21, який реагує на зміни в теломерах — структурах, які формують кінці хромосом. Теломери складаються з тієї ж речовини, що й гени, — з ДНК. Вони містять тисячі повторів шестиосновної послідовності ДНК, яка не кодує жодного білка. Щоразу при поділі клітини частина теломери втрачається. Теломери мо-

бувається в цілому організмі”, — коментує Де Ланж.

Поки що зв'язок між укороченням теломер і старінням доволі незначний. Більшості клітин не потрібно ділитися, щоб виконувати свої функції. Очевидними винятками є попередники сперматозоїдів та білі кров'яні тільця, які протидіють інфекції. Однак чимало людей похилого віку вмирає від простих інфекцій, перед якими молодший організм може встояти. “Старіння не має впливу на нервову систему, — каже Седів, —

Можливо, сезонні цикли тварин регулює циркадний годинник.

птахів зі швидким метаболізмом живуть довше, ніж ссавці з таким самим розміром тіла. Великі тварини з повільним метаболізмом не обов'язково живуть довше, ніж малі. Тривалість життя папуги приблизно така ж, як і в людини. Хоча у межах виду малі породи собак зазвичай живуть довше, ніж великі.

У пошуках меж тривалості людського життя науковці зазвичай починали з клітинного рівня, не беручи до уваги весь організм. Наразі найбільше підозр у причетності до визначення тривалості нашого життя викликає так званий мітотичний годинник. Він стежить за поділом клітини надвое (мітозом). Мітотичний годинник нагадує пісочний, в якому кожна піщинка — це один клітинний поділ. Наче піщинки, що врешті-решт пересипаються з верхньої частини пісочного годинника в нижню, нормальні клітини людського тіла мають свою верхню межу кількості поділів. У культурі вони проходять 60-100 мітотичних поділів, після чого припиняють ділитися. “Раптом вони просто перестають ділитися, — каже Джон Седів з Університету Брауна. — Вони дихають, метаболізують, рухаються, але вже ніколи не ділитимуться”.

Клітини у культурі старіють, як правило, за декілька місяців. На щастя, більшість клітин тіла діляться набагато повільніше. Але приблизно за 70 років і вони “виходять на пенсію”. “Клітини живуть не за хронологічним часом, — каже Седів. — Їхні “роки” —

лодих ембріонів людини містять 18 000—20 000 основ. У “старій” клітині довжина теломер зменшується до 6000 — 8000 основ.

Біологи підозрюють, що клітини стають “старими”, коли теломери вкорочуються до певної довжини. Нещодавно Тіція де Ланж з Університету Рокфеллера запропонувала нове пояснення цього зв'язку. У здорових клітинах, на її переконання, кінці хромосом утворюють петлі — наче руки в кишенях. “Рука” складається з останніх 100-200 основ теломери. На відміну від решти, вони односторонні, а не спарені. Нормальний p21 і теломери можуть перешкоджати надлишковому поділові клітин, щоб ті не загинули або не стали злоякісними. Старіння клітин насправді може не вкорочувати людське життя, а продовжувати його. Воно може бути недосконалим захистом клітин від злоякісного росту та смерті. “За допомогою цього редукціоністського підходу ми сподіваємося зібрати достатньо інформації, яка допоможе нам зрозуміти, що від-

оскільки більшість нервових клітин не ділиться. Однак воно сильно пов'язане зі старінням імунної системи”.

У будь-якому випадку втрата теломер — лише один із численних ударів, що їх зазнають клітини під час поділів, вважає Джудіт Кампісі з Національної лабораторії Лоуренса Берклі. ДНК часто пошкоджується при реплікації під час клітинного поділу, тому “старі” клітини, які багато разів ділилися, з більшою ймовірністю несуть генетичні помилки, ніж молодші клітини. Гени, пов'язані зі старінням у тварин та людини, часто кодують білки, які попереджують або виправляють ці помилки. З кожним мітотичним поділом побічні продукти копіювання ДНК накопичуються в клітинному ядрі, утруднюючи наступні раунди реплікації.

“Поділ клітин — дуже ризикозна справа”, — зауважує Кампісі. Не дивно, що клітина накладає обмеження на мітоз. Затримка старіння клітини, очевидно, не зробить її безсмертною. Піщинок, які впали через мітотичний годинник, уже не повернути.

Додаткова література

The Body Clock Guide to Better Health. Michael Smolensky and Lynne Lamberg. Henry Holt and Company, 2000.

Neuropsychological Mechanisms of Interval Timing Behavior. Matthew S. Matell and Warren H. Meck in BioEssays, Vol. 22, No. 1, pages 94—103; January 2000.

The Evolution of Brain Activation during Temporal Processing. Stephen M. Rao, Andrew R. Mayer and Deborah L. Harrington in Nature Neuroscience, Vol. 4, No. 3, pages 317—323; March 2001.

The Living Clock. John D. Palmer. Oxford University Press, 2002.





Згадуючи, КОЛИ...

Деякі структури головного мозку відіграють важливу роль у функціонуванні “психічного часу”, котрий організовує наші переживання у хронологію подій, які ми запам’ятовуємо

Антоніо Дамасіо

Зустрічі, відвідувачі, виклики, обіди — все організоване так, аби починатися о конкретній годині. Ми можемо координувати свою діяльність з іншими людьми, оскільки всі беззаперечно дотримуються єдиної системи вимірювання часу, ґрунтованої на одвічному коливанні денного світла. У процесі еволюції в людей розвинувся біологічний годинник, керований почерговими ритмами світла і темряви. Цей годинник, захований у гіпоталамусі головного мозку, регулює те, що я назвав би тілесним часом [див. статтю Карен Райт “Час нашого життя” у цьому числі].

Але є зовсім інший різновид часу — “психічний”. Він пов’язаний з тим, як ми переживаємо проходження самого часу і як його хронологічно організуємо. Незважаючи на постійне цокання годинника, перебіг якихось процесів може здаватися швидким або повільним, тривалість — короткою чи довгою. Проте цю мінливість можна спостерігати в різному діапазоні: від декад, пір року, тижнів і годин

винятково) інформаційна обробка. Якщо останнє твердження правильне, то психічний час має визначатися увагою, котру ми скеровуємо на події, та емоціями, які ми переживаємо, коли вони виникають. На нього має впливати також спосіб запису подій та висновки, які ми робимо, сприймаючи і згадуючи щось.

Час і пам’ять

Я зацікавився питаннями обробки часу, працюючи з неврологічними пацієнтами. У людей з ураженнями тих ділянок головного мозку, які задіяні у навчанні та засвоєнні нової інформації, розвивалися значні порушення здатності локалізувати минулі події у правильному періоді та послідовності. Більше того, ці пацієнти не могли точно оцінити плин часу в діапазоні годин, місяців, років і декад. З іншого боку, їхній біологічний годинник часто залишався неушкодженим — отож вони зберігали

сторонній зв’язок з рештою кори. Ушкодження гіпокампа блокує утворення нових спогадів. Останнє — обов’язковий елемент у конструкції відчуття власної хронології. Ми будуємо нашу часову лінію від події до події й пов’язуємо особисті події з тими, що відбуваються навколо нас. Пацієнти з ураженням гіпокампа неспроможні утримувати фактичні події довше однієї хвилини — у них антероградна амнезія.

Найбільше інтригує те, що спогади, які допомагає створювати гіпокамп, у ньому не зберігаються. Вони поширюються у невральних сітках кори головного мозку (зокрема — у скроневій частці), що стосуються особливостей матеріалу, який слід запам’ятати: зонах зорових чи слухових відчуттів, тактильної інформації і т. ін. Ці сітки активуються як при фіксуванні, так і при згадуванні подій. Їхнє руйнування призводить до того, що пацієнти не можуть відновити давноминулих спогадів — такий стан відомий під назвою

Пацієнти з амнезією втрачають здатність точно оцінювати плин часу в діапазоні годин, місяців, років і декад.

— до найдрібніших музичних інтервалів — однієї ноти чи моменту тиші між ними. Крім того, ми локалізуємо події у часі, вирішуючи, коли вони сталися, в якій послідовності та в якому обширі — протягом життя чи кількох секунд.

Поки що невідомо, як психічний час пов’язаний із тілесним. Також неясно, чи залежить психічний час від єдиного хронометричного пристрою, чи основою наших відчуттів тривалості й часового порядку є (переважно або ж

можливість відчувати й упорядковувати короткі часові інтервали тривалістю до однієї хвилини. Нарешті, відчуття цих людей нашттовхують на думку, що обробка часу і певні типи пам’яті мають спільний неврологічний підтекст.

Найяскравіше зв’язок між амнезією й часом спостерігається при стійкому враженні головного мозку в зоні гіпокампа — важливий для пам’яті ділянки — та суміжної скроневі частки, через яку гіпокамп здійснює дво-

ретроградної амнезії. Найсерйозніше втрачаються при ретроградній амнезії ті спогади, які мають у собі часовий відбиток: спогади унікальних подій, котрі відбулися у конкретному контексті в конкретних обставинах. Наприклад, спогад про власне весілля позначений часовим відбитком. Дещо інший, але споріднений різновид спогаду (скажімо, саме поняття весілля) його не несе. Скронева частка, що оточує гіпокамп, відіграє ключову роль у формуванні таких спогадів та в їх згадуванні.

У пацієнтів з ураженням кори скроневі частки цілі роки (іноді — десятки років) їхньої біографії можуть бути безповоротно стерті. Вірусний енцефаліт, інсульт і хвороба Альцгеймера — ті неврологічні стани, що відповідальні за більшість серйозних уражень цієї зони.

Огляд

■ Учені добре розуміють, як людський організм дотримується часової послідовності завдяки циркадним ритмам, але ще не можуть пояснити, як головний мозок встановлює події у відповідній часовій послідовності.

■ Останні дослідження нашттовхують на думку, що різні структури головного мозку — зокрема гіпокамп, базальні відділи переднього мозку і скронева частка — відіграють певну роль у дотриманні “психічного часу”.

ЗНАХОДЯЧИ ЧАС

Дослідження пацієнтів з ураженнями головного мозку наводять на думку, що структури скроневої частки і базальних відділів переднього мозку відіграють важливу роль у фіксації й згадуванні інформації про те, коли і в якому порядку сталися певні події. — А.Р.Д

БАЗАЛЬНІ ВІДДІЛИ ПЕРЕДЬНОГО МОЗКУ

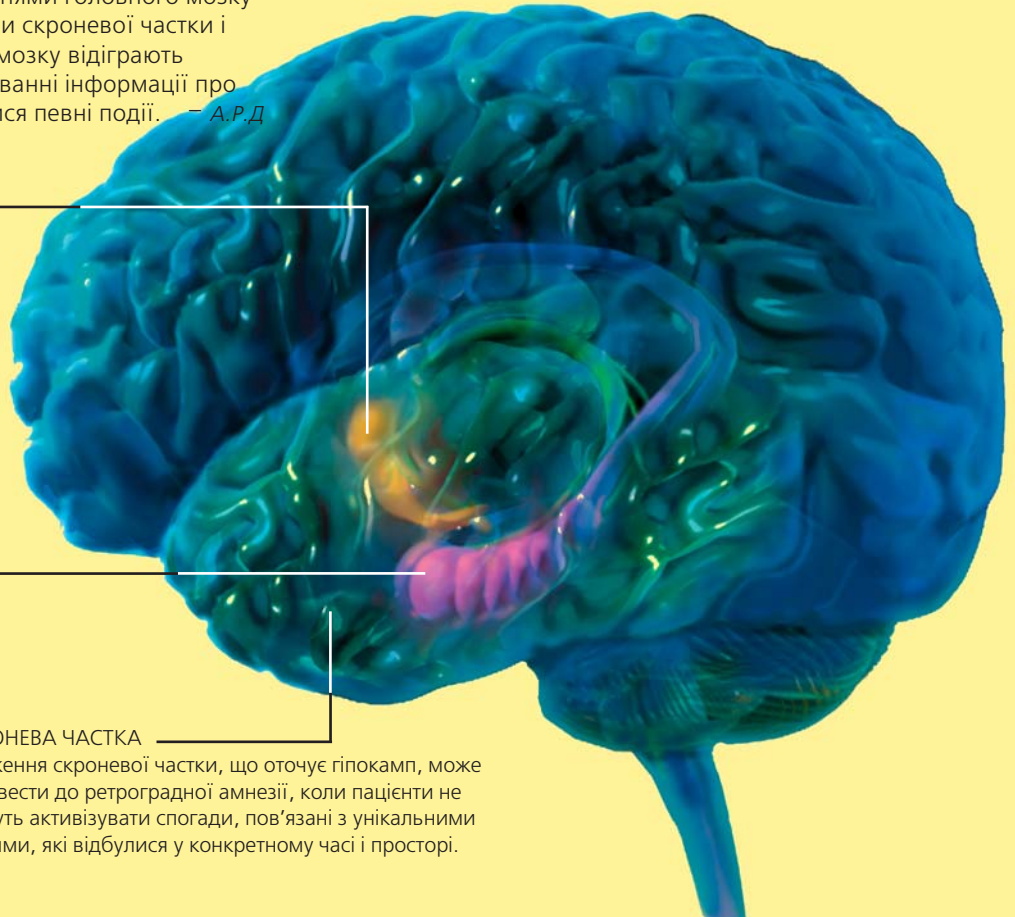
При ураженні цієї ділянки зберігається здатність згадувати певні події, але порушується спроможність згадати, коли саме вони сталися. Це свідчить про те, що ця зона відіграє певну роль в ідентифікації хронології минулих подій.

ГІПОКАМП

Ураження цього утвору (розміщений на внутрішній поверхні скроневої частки) спричиняє антероградну амнезію: порушується здатність утворювати нові спогади.

СКРОНЕВА ЧАСТКА

Ураження скроневої частки, що оточує гіпокамп, може призвести до ретроградної амнезії, коли пацієнти не можуть активізувати спогади, пов'язані з унікальними подіями, які відбулися у конкретному часі і просторі.



В одного пацієнта, якого разом з колегами я вивчав протягом 25 років, часовий провал простягається аж до грудного віку. Коли йому було 46 років, він зазнав uszkodження як гіпокампа, так і скроневої частки. Відтак, у нього була антероградна та ретроградна амнезія: він не міг створювати нових фактичних спогадів, а також не міг згадати минулі події. Пацієнт постійно живе в теперішньому часі — неспроможний згадати, що сталося хвилину чи 20 років тому.

Справді, у нього абсолютно немає відчуття часу. Він не міг назвати рік, у якому живе, а коли його просили подумати, то одержували неймовірно відповіді — від 1942-го до 2013 року. Цей чоловік робить точніші висновки про час лише тоді, коли підходить до вікна і може зорієнтуватися за світлом чи темрявою. Але коли у нього забрати годинник чи позбавити доступу назовні, ранок для пацієнта не відрізняється від полудня, а ніч від

дня — від годинника тілесного часу немає жодної користі. До речі, чоловік не може назвати свій вік. Можна попросити його вгадати, але ці спроби переважно невдалі.

Щоправда, є кілька речей, щодо яких пацієнт упевнений: він одружений і батько двох дітей. Але коли він одружився? Коли народилися його діти? Цього він не знає. Він не може локалізувати себе у часовій лінії власного сімейного життя. Чоловік справді був одружений, але дружина розлучилася з ним понад 20 років тому. Його діти давно одружені й мають власних дітей.

Часові відбитки

Досі залишається таємницею, як головний мозок достосовує конкретну подію до конкретного часу і простору в хронологічному порядку, або ж — як у випадку з моїм пацієнтом — зазнає у цьому невдачі. Ми знаємо

тільки, що в цьому процесі задіяна як фактологічна пам'ять, так і пам'ять на просторово-часові співвідношення між фактами. Тому я та мої колеги з Університету штату Айова Деніел Тренел і Роберт Джонс вирішили дослідити, як утворюється автобіографічна лінія часу. Вивчаючи осіб з різними видами розладів пам'яті, ми намагалися ідентифікувати ту зону (чи зони) головного мозку, яка бере участь у фіксуванні спогадів у конкретному часовому інтервалі.

Про автора

Антоніо Дамасіо — заслужений професор, завідувач кафедри неврології Медичного коледжу Університету штату Айова, а також ад'юнкт-професор Інституту біологічних досліджень Солка (Лайола, Каліфорнія). Визнаний фахівець у галузі неврологічних розладів інтелекту та поведінки. Автор трьох книг: "Помилка Декарта", "Відчуття того, що стається" і "Шукаючи Спінозу" (остання — у друці).

ЯК ФІЛЬМ ГІЧКОКА “ШВОРКА” (“*ROPE*”) ПОДОВЖУЄ ЧАС

Один із найкращих способів збагнути еластичність часу — піти в кіно, на виставу, концерт чи відвідати якусь лекцію. Фактична тривалість такої події та її психічна тривалість — різні речі. Для ілюстрації факторів, які впливають на різне переживання часу, пропоную скористатися фільмом Альфреда Гічкока “Шворка” (1948) — унікальним з технічного погляду твором, який складається з неперервних немонтованих 10-хвилинних дублів (історія кінематографу не знає іншого фільму, де б застосовувався лише цей прийом). Орсон Веллес у “Доторку зла”, Роберт Альтман у “Гравцях” і Мартін Скорсезе у “Хорошому хлопцеві” використовували довгі неперервні зйомки, але не такі тривалі. (Попри схвальні відгуки про фільм робота над ним стала кошмаром для всіх його учасників, тож надалі Гічкок вдавався до цього методу лише частково — у своєму наступному фільмі “Під Козерогом”).

Режисер використав згадану методу не просто так. Він намагався зобразити історію, що відбувалася в неперервному часі, але був обмежений кількістю плівки, котра заряджалася в кінокамеру (не більше, ніж на 10 хвилин).

Тепер розглянемо, як реальний час самого фільму прокручується у нашій психіці. В інтерв'ю з Франсуа Трюффо у 1966 році Гічкок сказав, що історія починається о пів на восьму вечора і закінчується о дев'ятій п'ятнадцять, через 105 хвилин. Сам фільм складається з восьми 10-хвилинних рулонів кіноплівки — загалом 81 хвилина. Куди ж поділися решта 25 хвилин? Може, ми сприймаємо фільм коротшим, не 105-хвилинним? Зовсім ні. Фільм не виглядає коротшим, ніж він є, і в глядача немає відчуття прискорень чи вирізань. Навіть навпаки, багатьом фільм здається довшим від свого проєкційного часу.

Я б виокремив тут кілька аспектів. По-перше, дія відбувається переваж-

но влітку, у вітальні пентхауса, і через панорамне вікно видно обриси Нью-Йорка. На початку фільму ступінь освітлення свідчить про пізній післяобідній час, під кінець — про ніч. Наше щоденне переживання поступового зникнення денного світла змушує нас відчувати дію в реальному часі, як досить довгу, що триває кілька годин, хоча насправді зміни освітлення прискорені Гічкоком.

По-друге, суть і контекст зображених дій також дозволяють по-іншому сприймати час. Після убивства, що сталося на початку першого фрагменту фільму, оповідь зосереджується на елегантній вечірці родичів та друзів жертви, якою керують двоє відрозливих убивць. Епізод, протягом якого гостей обслуговують, займає приблизно два рулони кіноплівки. Глядачі ж приписують цьому елементові фільму більше часу, оскільки ми знаємо, що ні господарі, ні гості, котрі видаються холоднокровними, ввічливими, спокійними, неспроможні



Світло далекого міста у "Шворці" згасає швидше, ніж у реальному житті, але глядачі приписують реальний час настанню ночі. Саме тому вони відчують, що час минає повільніше, ніж це відбувається у фільмі.

настільки швидко впоратися з обідом. Коли сюжет розгалужується — деякі гості розмовляють у вітальні перед камерою, інші йдуть у вітальню подивитися на рідкісні книги, — ми знову приписуємо цьому закадровому епізоду більше часу, ніж ті кілька хвилин, які він триває фактично.

До сповільнення часу у фільмі причетний ще один чинник. Немає різких переходів між 10-хвилинними фрагментами фільму: камера повільно ковзає від одного персонажа до іншого. Аби сполучити фрагменти між собою, Гічкок завершує кожен дубль крупним планом чогось. У більшості випадків камера рухається позаду актора в чорному костюмі, після чого екран на кілька секунд чорніє; наступний дубль починається з того, що камера відвертається від спини актора. Хоч ця перерва дуже коротка і не сигналізує про часовий провал, вона може, окрім усього, працювати на видовження

часу, оскільки ми призвичаєні інтерпретувати провали неперервності зорового сприйняття, як перерви у неперервності часу. Монтажні пристосування — наприклад, повільне нашарування кадру чи поступове зменшення чіткості зображення — часто змушують глядачів робити висновки, що між попереднім і наступним кадром минув певний час. У "Шворці" кожна із семи перерв затримує реальний час на частки секунди. Але загалом деяким глядачам може здаватися, що минуло більше часу.

Емоційний контекст матеріалу також подовжує час. Коли ми почуваємося незручно чи схвильовані, то сприймаємо час повільніше, оскільки фокусуємося на негативних образах, пов'язаних із тривогою. Дослідження моєї лабораторії показують, що головний мозок генерує образи швидше, коли людина переживає позитивні емоції (можливо, саме тому час

минає миттєво, якщо нам добре), і знижує рівень формування образів при негативних емоціях. Наприклад, свій останній авіапереліт (супроводжуваний сильною турбулентністю) я пережив болюче повільно, оскільки моя увага була зосереджена на дискомфорті переживань. Можливо, неприємність сюжету "Шворки" у такий спосіб приховує видовження часу.

Цей фільм яскраво демонструє відчутне розходження між реальним часом і сприйняттям часу аудиторією. Він ілюструє, як конструюється переживання тривалості. Вплив "Шворки" ґрунтується на різних факторах — змісті сприйнятих подій, емоційних реакціях, що їх провокують ці події, шляхах, якими в нашу свідомість проникають образи, а також свідомих та підсвідомих умовиводах, які їх (образи) супроводжують.

— А.Р.Д.



Ми сформували чотири групи учасників — загалом 20 чоловік. Першу групу становили пацієнти з амнезією, спричиненою пошкодженням скроневі частки; другу — хворі з амнезією, посиленою ушкодженням базальних відділів переднього мозку, іншої важливої для пам'яті ділянки. Третю групу склали пацієнти без амнезії з ушкодженнями головного мозку, яких

начні суспільні події (наприклад, вибори, війни, катастрофи), а також культурні досягнення пам'ятають досліджувані особи. Після цього ми просили їх розмістити картки, що описували конкретну суспільну чи особисту подію, на спеціально розграфленій дошці — рік за роком усе ХХ сторіччя. Це нагадувало настільну гру із назвою Життя. Така схема дозволила дослід-

становила 5,2 року. Але рівень згадування у них був вищий порівняно з пацієнтами із пошкодженнями у скроневій частці, котрі, поза тим, були точнішими щодо часових відбитків, — середнє відхилення від правильних величин у їхній групі становило лише 2,9 року.

Результати дозволяють припустити, що утворення часових відбитків і згадування подій — окремі процеси. Висновок — базальні відділи переднього мозку можуть відігравати ключову роль в упорядкуванні контексту, який дозволяє нам розташовувати події у правильному діапазоні. Це корелюється з клінічними спостереженнями таких пацієнтів. На відміну від хворих із пошкодженнями скроневих часток, вони спроможні засвоювати нові факти, хоча надалі часто відтворюють їх у неправильному порядку, реконструюючи послідовності подій у вигаданий наратив, який може змінюватися від випадку до випадку.

Запізнюючись до свідомості

Більшість із нас легко дає собі раду з великими часовими провалами і не відчуває часової дезорієнтації — на відміну від багатьох моїх пацієнтів. Проте всі ми маємо дивну психічну затримку в часі — феномен, який зауважив у 1970-х роках нейрофізіолог Бенджамін Лібет із Каліфорнійського університету в Сан-Франциско. Під час одного експ-

Існує часовий інтервал між початком невральної активності, що "вмикає" свідомість, і моментом, коли людина переживає наслідки цієї активності.

не було у перших двох групах. Контрольна група включала осіб без захворювань нервової системи, співвідносних за віком та рівнем освіти.

Кожен учасник заповнював детальний питальник про ключові події власного життя. Ми запитували про батьків, братів, сестер та інших родичів, про школу, товаришів, професійну діяльність і т. ін. Потім відповіді звіряли зі свідченнями родичів та записами. Ми з'ясували, які виз-

никам провести вимірювання точності розміщення певних подій у часі.

Зрозуміло, що пацієнти з амнезією відрізнялися від контрольної групи. Здорові люди були відносно точними: вони помилялися в середньому на 1,9 року. Амнестичні хворі допускалися помилок частіше — зокрема ті, які зазнали пошкодження базальних відділів переднього мозку. Хоча вони точно згадували подію, локалізувати її в часі було для них доволі важко: похибка

перименту Лібет виявив розрив між моментом, коли піддослідний прийняв рішення зігнути палець руки (є запис цього моменту), і часом, коли на електроенцефалографі було видно, що згинання неunikне. Активність мозку була зафіксована за третину секунди до того, як людина свідомо вирішила порухати пальцем. В іншому експерименті Лібет перевіряв, чи викликає дія прикладеного безпосередньо до головного мозку подразни-

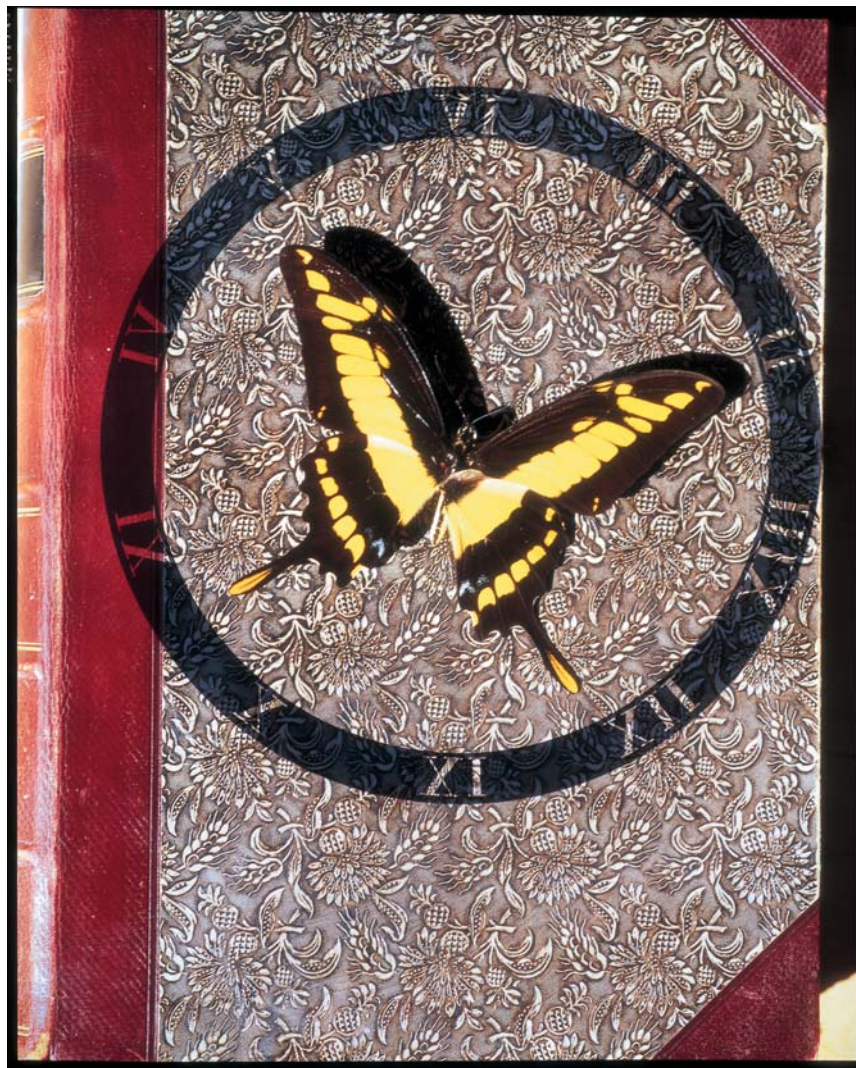
ка які-небудь відчуття у деяких нейрохірургічних пацієнтів, що перебували у стані свідомості. Він виявив, що помірний електричний заряд, прикладений до кори, спричиняє поколювання в руці хворого через півсекунди після безпосередньої дії.

Хоча інтерпретація цих експериментів (як і інших досліджень у сфері свідомості) доволі контroversійна, зробіт Лібета впливає один важливий висновок. Очевидно, що існує часовий інтервал між початком невральної активності, що “вмикає” свідомість, і моментом, коли людина переживає наслідки цієї активності.

Такі результати на перший погляд можуть шокувати, але підстави для затримки загалом очевидні. Потрібен час для того, щоб фізичні зміни, які лежать в основі подразника, що зачіпає наш організм, вплинули на чутливі детектори органа, наприклад, сітківки. Потрібен час для того, щоб електрохімічні зміни були передані у вигляді сигналів до центральної нервової системи. Потрібен час для генерування неврального паттерну в сенсорних картах головного мозку. І, нарешті, потрібен час для пов'язування між собою невральної карти події та психічного образу, що походить із невральної карти та образу себе, тобто уявлення про те, хто ми є, — останнього й критичного кроку, без якого подія ніколи не стане свідомою.

Йдеться, звісно, про мілісекунди, але затримка все-таки є. Це настільки дивно, що читачеві кортить знати, чому ж ми цієї затримки не усвідомлюємо. Є одне “популярне” пояснення. У кожного з нас приблизно однаковий мозок, у всіх він працює аналогічно, але ми безнадійно повільні для свідомості, тому ніхто цього не зауважує. Насправді головний мозок у процесі центрального інформаційного опрацювання подій може ініціювати власні зв'язки, що дозволяє йому на мікросховому рівні “передбачати” деякі з цих подій. Відтак, затримані процеси виглядають не такими вже й затриманими, а процеси, затримані різними способами, виглядають схожими.

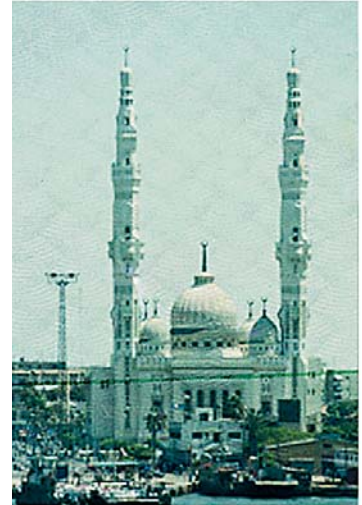
Те, що спостерігав Лібет, може пояснити ілюзію неперервності часу і простору, коли при розгляданні наші очі швидко й стрибкоподібно руха-



ються від одного предмета до іншого. Ми не зауважуємо ні затуманення, яке супроводжує рухи очей, ні часу, необхідного для переведення погляду з однієї точки на іншу. Патрік Гаггард з Лондонського університетського коледжу та Джон Ротвелл з Інституту когнітивних нейронаук у Лондоні вважають, що мозок передбачає сприйняття предмета на 120 мілісекунд, що й забезпечує нам відчуття цілісного зображення.

Здатність головного мозку монтувати наші зорові переживання і доповнювати їх відчуттям дії після того, як нейрони подіяли фактично, — показник його витонченої чутливості до часу. І хоча наше розуміння психічного часу ще неповне, ми близькі до того, аби врешті з'ясувати, як і чому ми переживаємо час настільки порізнному, і як головний мозок вибудовує часову лінію.

Додаткова література



Культура часу

Що таке час? У різних суспільствах відповіді на це запитання відрізнятимуться

Керол Езелл

Якщо в Бразилії ви на годину запізнюєтеся на зустріч — ніхто й оком не змигне. Але варто когось затримати на декілька хвилин у Нью-Йорку — і вам обов'язково доведеться вибачитися. Час дуже еластичний в одних культурах і настільки ж напружений — в інших. Реальне сприйняття і використання людьми свого часу відображає пріоритети їхнього суспільства і навіть власний світогляд.

Соціологи вказують на чималі розбіжності в темпах життя різних країн. Бачення часу також відрізняється в різних суспільствах: одні уявляють його як стрілу, що пронизує майбутнє, інші — у вигляді нескінченного кругообігу минулого, теперішнього і майбутнього. У деяких культурах час і простір об'єднуються. Так, концепція австралійських аборигенів про “Час сну” містить не тільки міф про створення світу, але й описує метод орієнтації на місцевості. Цікаво, що деякі аспекти сприйняття часу не залежать від культурних особливостей. Зокрема, спільним є уявлення про те, що наділеній владою особі дозволено затримувати будь-кого, нижчого за посадою.

У науці про час і суспільство виділяють прагматичний і космологічний аспекти. Розглядаючи її з практичного боку, у 1950-х роках антрополог Едвард Голл-молодший писав, що правила соціального сприйняття часу є “мовчазною

мовою” певної культури. Ці закони не завжди можна чітко описати, зазначав Голл, але вони “витають у повітрі... Вони або знайомі і зручні, або незрозумілі й неправильні”.

У 1955 році в Scientific American він описав, як різниця у сприйнятті часу може провокувати непорозуміння між представниками різних культур. “Посланець іноземної країни, до якого відвідувач запізнюється більше, ніж на півгодини, й обмежується “невиразним бурмотінням замість вибачення”, повинен розуміти, що це не обов'язково свідчить про хамство, — пише Голл. — Часова система чужої країни може перебувати в дещо іншому вимірі, тому насправді відвідувач затримувався не так довго, як це може видатися нам. Щоб знати, де пролягає межа правил хорошого тону, слід орієнтуватися в часовій системі іншої країни... Рамки, накладені різними культурами на часові одиниці, не завжди однакові”.

Сьогодні більшість культур на Землі послуговуються годинниками й календарями, які об'єднують їх з іншими мешканцями земної кулі в одному загальному часовому ритмі. Але це не означає, що всі ми йдемо в ногу. “Одна з принад досліджень у галузі часосприйняття полягає в тому, що вони відкривають чудове “вікно” для спостережень за культурою, — каже Роберт Лівайн, соціопсихолог із Каліфорнійського державного університету у Фресно. —

Ви дізнаєтеся, що ціниться в цих суспільствах, у що вони вірять. Можна добре зрозуміти, що насправді важливо для людей”.

Лівайн та його колеги вивчали ритм життя в 31 країні. У книзі “Географія часу”, опублікованій у 1997 році, Лівайн описує, як він оцінював країни за трьома показниками: швидкістю пересування перехожих вулицями міста, оперативністю заповнення поштовими клерками звичайного бланка і точністю міських годинників. На основі цих даних він визначив п’ятірку країн із найшвидшим ритмом життя: Швейцарія, Ірландія, Німеччина, Японія та Італія. Найповільніша п’ятірка — Сирія, Ель-Сальвадор, Бразилія, Індонезія та Мексика. США опинилися на 16-му місці, майже посередині.

Кевін Берт, антрополог із Королівського коледжу, досліджував особливості сприйняття часу в Тринідаді. Назва його книги, виданої в 1999 році, — “Будь-який час є тринідадським: соціальне значення і часова свідомість” — походить від загальноновживаного там вибачення за спізнання. Берт так пише про цю країну: “Якщо у вас призначено зустріч на шосту вечора, то люди зазвичай приходять о 6.45 або й о 7.00 і кажуть: “Будь-який час є тринідадським”. Щоправда, коли справа доходить до бізнесу, то це вільне трактування пунктуальності стосується лише людей, наділених владою. Бос, запізнившись, може обмежитися словами “Будь-який час є тринідадським”, але його підлеглі повинні бути пунктуальнішими. Для них існує інше прислів’я: “Час — це час”. Берт додає, що залежність часу очікування на людину від її посади справджується й для багатьох інших культур.

Невизначена природа часу ускладнює його дослідження для антропологів та соціопсихологів. “Не можна просто “зайти” в суспільство, підійти до пересічної людини і попросити: “Розкажи мені, яким ти відчуваєш час”, — каже Берт. — Люди нічого не можуть сказати про це. Щоб щось дізнатися, треба йти іншими шляхами”.

Берт намагався визначити ціну часу в Тринідаді, досліджуючи, наскільки тісно пов’язані між собою час і гроші для його жителів. Опитування селян виявило, що фермери, чиє життя окреслюється щоденними явищами природи (схід сонця, наприклад), не знали таких висловів, як “час — це гроші”, “цінуй свій час”, або “економія часу”. І це при тому, що вони переглядають супутникове телебачення і мають уявлення про західну культуру. Натомість теслярам з тієї ж місцевості такі вислови знайомі. Берт зробив висновок, що оплачувана грошима робота змінює уявлення людей про час. “Ототожнення часу і грошей не є повсюдною традицією, — каже він, — але її можна пов’язати з вашою професією та вашими співробітниками”.

Ставлення людей до часу в повсякденному житті часто ніяк не пов’язане з їхнім сприйняттям часу як абстрактного поняття. “Часто можна побачити несумісність між міфологічним розумінням часу в культурі та його повсякденним сприйняттям, — доводить Берт. — У буденному житті ми не осмислюємо його за допомогою теорій Стівена Гокінга”.

У деяких культурах немає чіткої різниці між минулим, теперішнім і майбутнім. Наприклад, австралійські абори-



гени вірять, що їхні предки виповзли із землі “у час Сну”. Своїми піснями вони творили буття світу, даючи ім’я кожному предметові або живій істоті. Навіть тепер ніщо не існуватиме, якщо його не “оспівати”.

Зіауддін Сардар, мусульманський автор і критик з Великобританії, редактор журналу Futures, писав про час та ісламські культури, зокрема — про фундаменталістську секту ваххабітів. Мусульмани завжди “несуть своє минуле з собою”, — стверджує професор Сардар, якого запросили до Лондонського університету Сіті прочитати лекції з постколоніалізму. “В ісламі час подібний до килима, сплетеного з минулого, теперішнього та майбутнього. Минуле завжди присутнє”. Послідовники ваххабізму, який практикують переважно в Саудівській Аравії (зокрема й Усама Бен Ладен), прагнуть відтворити ідилічні часи життя пророка Мухамеда. “Майбутнє для них заборонене, — каже Сардар. — Вони романтизують особливе бачення минулого. Все, чим вони живуть, — це спроби відновити його”.

Сардар запевняє, що Захід “колонізував” час, насаджуючи уявлення про покращення життя з плином часу: “Якщо ви колонізуєте час, ви заодно колонізуєте майбутнє. Звичайно, уявляючи час у вигляді стріли, ви бачите майбутнє як прогрес, що рухається в одному напрямку. Проте майбутнє, якого прагнуть інші люди, може відрізнитися від вашого”.

Керол Еззелл — штатний редактор і письменник.



Упродовж тисячоліть прилади для вимірювання часу ставали складнішими й точнішими, прогресуючи, наприклад, від напівсферичного римського сонячного годинника I або II ст. до н. е. (ліворуч) до американського "дідусевого" годинника XVIII сторіччя (праворуч) і атомного воднево-мазерного годинника, винайденого на початку 1960-х років (ліворуч внизу).

Годинниковий літопис

Ми сприймаємо час так, як його вимірюємо

Вільям Ендрюс

Протягом усієї історії людства невтомні спроби виміряти перебіг часу підштовхували розвиток науки і технології. Відчуваючи гостру потребу оцінки тривалості дня і ночі та поділу їх на частини, древні єгиптяни, а за ними греки та римляни створили сонячні та водяні годинники, а також деякі інші примітивні хронометричні прилади. Мешканці Західної Європи перейняли ці технології, але вже у XIII сторіччі виникла потреба надійнішого й точнішого вимірювання часу. Середньовічні майстри реалізували її у вигляді механічного годинника. Новий прилад, хоч і задовольняв потреби міських та монастирських громад, не міг успішно застосовуватися в науці, аж поки для керування його механізмом не використали маятник. Точні годинники, сконструйовані згодом, допомогли вирішити критичну проблему визначення місцерозташування корабля в морі й відіграли ключову роль у промисловій революції та загальному прогресі західної цивілізації.

Сучасні високоточні годинникові прилади використовуються в більшості електронних пристроїв. Зокрема, роботу майже всіх

комп'ютерів регулює годинник на кварцовому кристалі. Більше того, супутникові сигнали системи глобального позиціонування (GPS) не тільки калібрують функції точного навігаційного обладнання, але й керують стільниковими телефонами, цілодобовими біржовими системами і загальнодержавними мережами енергопостачання. Наша залежність від технологій, ґрунтовних на вимірюванні часу, настільки всеохопна, що ми усвідомлюємо її лише тоді, коли вони виходять із ладу.

Календарний відлік

Археологічні дані свідчать, що вавилоняни та єгиптяни почали вимірювати час принаймні п'ять тисяч років тому, запровадивши календарі для організації та координації громадських заходів і подій, планування торговельних операцій і, передусім, визначення часу сівби та збирання врожаю. Їхній календар ґрунтувався на трьох природних циклах: сонячному дні, що визначався згідно з послідовними періодами світла і темряви під час





обертання Землі навколо своєї осі; місяці — періоді, окресленому зміною фаз Місяця при його обертанні навколо Землі; та сонячному році, що визначається зміною сезонів, яка супроводжує обертання Землі навколо Сонця.

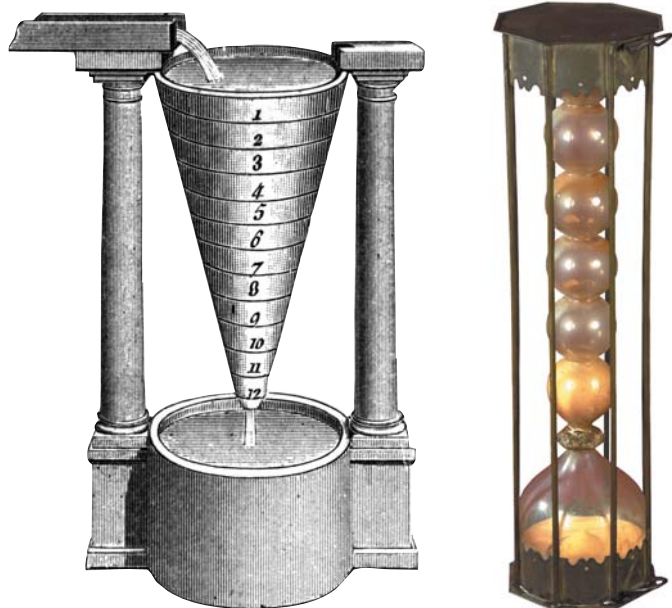
Поки не винайшли штучне освітлення, Місяць впливав на життя людей значно істотніше. Ті, хто жив поблизу екватора, більше орієнтувалися на його збільшення та зменшення, аніж на зміну пір року. Тому календарі, створені на нижчих широтах, міцніше прив'язані до місячного циклу, а не до сонячного року. Натомість у північних широтах з їхнім сезонним сільським господарством життєво важливим став сонячний рік. Після експансії Римської імперії на північ на більшості її територій було запроваджено календар на основі сонячного року. Витоки сучасного григоріанського календаря губляться у вавилонському, єгипетському, єврейському та римському календарях.

Єгиптяни уклали громадянський календар, в якому було 12 місяців по 30 днів плюс п'ять додаткових днів для компенсації різниці із сонячним роком. Кожен із десятиденних періодів відзначався появою на небі певних груп зірок (сузір'їв), іменованих декадами. Коли зірка Сіріус сходила перед світанком (а це траплялося щороку під час розливу Нілу), на небесах можна було спостерігати одночасно 12 декад. Єгиптяни приписували 12 декадам певне космічне значення, яке лягло в основу розробленої ними системи поділу кожного інтервалу темряви (а згодом і світла) на 12 рівних частин. Ці періоди дістали назву темпоральних, або денних і нічних годин, оскільки їхня довжина відрізнялася вночі та вдень залежно від пір року. Літні години були довгими, а зимові короткими; зрівнювалися вони лише у періоди весняного та осіннього рівнодення. Темпоральні години, які перейняли та поширили згодом у всій Європі греки та римляни, були у вжитку більш ніж дві з половиною тисячі років.

Для відліку денних годин було винайдено сонячні годинники, які показували час за напрямком та довжиною сонячної тіні. Нічні темпоральні години відраховував водяний годинник, створений як альтернатива сонячному. Один із перших водяних годинників — це басейн із маленьким отвором на дні, через який витікала вода. Рівень води вказував поточну годину за допомогою спеціальної шкали, нанесеної на внутрішню поверхню басейну. Однак у хмарному й морозному кліматі Північної Європи важко було покладатися на ці пристрої, хоч вони й задовольняли мешканців Середземномор'я.

Пульс часу

Найдавніша згадка про механічний годинник із гирьовим приводом датується 1283 роком — цей годинник було встановлено у Данстейблському монастирі (графство Бедфордшир в Англії). Не дивно, що провідну роль у зародженні та розвитку годинникової технології відіграла Римська католицька церква. Для суворого дотримання молитовного графіка, як того вимагали монастирські правила, принципово необхідним був значно надійніший засіб вимірювання часу. В руках Церкви була не лише система освіти, але й значні кошти, яких цілком вистачало для за-



Сипкі й рідкі речовини віддавна використовували для вимірювання часу. Витікання води з примітивного водяного годинника (*ліворуч*) дозволяло визначати час за пониженням її рівня. Для оцінки специфічних проміжків часу використовувалися пісочні годинники – як оцей із Франції XVIII сторіччя (*праворуч*), що ділить годину на 10-хвилинні періоди.

лучення до роботи найуміліших майстрів. Збільшення кількості торговців у містах Європи другої половини XIII сторіччя також підвищило попит на вдосконалені годинникові пристрої. До 1300 року французькі та італійські ремісники вже виготовляли годинники для церков і катедр. Перші такі апарати нагадували громадянам про їхні буденні справи, відраховуючи час ударами дзвона. Звідси й походить їхнє ім'я, запозичене з латинської мови, – *слюсса* (“дзвін”).

Револьюційною деталлю нового годинника була не гиря (опускаючись, вона створювала привідну силу) і не колеса-шестерні для передачі енергії (вони застосовувалися вже щонайменше 1300 років). Переворот спричинив спуск – пристрій, що контролював обертання коліс і передавав енергію, необхідну для підтримання коливань осцилятора (він регулює швидкість роботи годинника) [пояснення роботи раних годинникових механізмів див. на стор. 60]. Винахідник спуску, на жаль, невідомий.

Рівномірні години

Звісно, механічний годинник можна було відрегулювати так, щоб він показував денні й нічні години, однак за своєю природою він призначався для відліку однакових відрізків часу. Тому за умови використання рівномірних годин неодмінно постає питання, звідки починати їх відлік? На початку XIV сторіччя виникає кілька систем поділу доби на 24 години, які відрізнялися між собою власне моментами початку відліку. Відлік італійських годин починався із заходом сонця, вавилонських – на світанку, астрономічних – опівдні, а “великих” годин, які використовувалися в Німеч-

чині в деяких масивних міських годинниках, – опівночі. Врешті-решт усі ці системи витіснили “малі”, або французькі години, які опівночі розмежовували добу на два періоди по дванадцять годин, як це прийнято й сьогодні.

Вже у 80-х роках XVI сторіччя у годинників замовляли прилади, які показували б як хвилини, так і секунди, але точності тодішніх механізмів не вистачало для появи таких поділок на циферблатах. Така ситуація тривала аж до 60-х років наступного сторіччя, коли з'явилися годинники з маятником. Поява хвилин і секунд пов'язана з поділом градуса на шістьдесят частин, який запровадили ще вавилонські астрономи. Слово “minute” (“хвилина”) походить від латинського рiмa *minuta* (“перша мала поділка”), а “секунда” – від *secunda minuta* (“друга мала поділка”). Ділення доби на 24 години, а годин і хвилин – на 60 частин настільки глибоко вкорінилося у західній культурі, що всі намагання змінити його зазнавали поразки. Найпомітнішою такою спробою було запровадження десяткової системи мір революційним урядом Франції у 90-х роках XVIII сторіччя. Хоча метр, літр та інші основні десяткові одиниці громадськість успішно прийняла, поділ доби на 10 годин, кожна з яких складалася зі 100 хвилин по 100 секунд, проіснував лише 16 місяців.

Портативні годинники

Упродовж кількох сторіч після винайдення механічного годинника потреби більшості людей у точному часі задовольняли періодичні удари дзвона на міській ратуші. Однак уже в XV сторіччі городяни почали встановлювати годинники у себе вдома. Дозволивши собі розкіш мати власний годинник, люди захотіли пересувати його з місця на місце. Винахідники досягнули бажаної портативності, замінивши гирю спіральною пружиною. Щоправда, скручення пружини збільшує її напруження. Цю проблему вирішили за допомогою “равлика”, або завитка (англ. *fusee*, від латинського *fusus* – “веретено”), який винайшов ще один невідомий геній механіки десь між 1400 і 1450 роками [див. ілюстрацію на стор. 60]. Конусоподібна деталь за допомогою струни сполучалася з барабаном, в якому містилася пружина. Коли годинник заводили і струна перемотувалася з барабана на “равлик”, зменшення діаметру спіралі на завитку компенсувало збільшення сили пружини. У такий спосіб барабан стабілізував дію привідної сили пружини на механізм годинника.

Не варто недооцінювати важливість “равлика”, який не лише уможливив розробку портативних годинників, але й спричинив подальший розвиток їхніх кишенькових аналогів. Ця деталь була невід'ємною частиною механізмів багатьох високоякісних годинників на пружинному приводі (зокрема і морських хронометрів) аж до кінця Другої світової війни.

В хід ідуть маятники

Датський астроном XVI сторіччя Тіхо Браге, як і багато інших його сучасників, намагався використати годинники для потреб науки, хоча навіть найкращі з них були

надто ненадійними. Астрономи особливо потребували досконалого засобу вимірювання часу для створення точних карт зоряного неба на основі руху зірок. Ключем для підвищення точності й надійності годинників став маятник. Легендарний італійський фізик та астроном Галілео Галілей чимало експериментував із маятниками, проте перший маятниковий годинник винайшов молодий датський астроном і математик Хрiстiан Гюйгенс на Рiздво 1656 року. Гюйгенс одразу збагнув комерційну та наукову цiннiсть свого винаходу, тож шiсть мiсяцiв по тому мiсцевий майстер у Гаазi отримав лiцензiю на виробництво годинникiв з маятниками.

Гюйгенс зауважив, що маятник, рухаючись по дузі кола, здiйснює малi коливання швидше, нiж великi. Тому будь-яка змiна розмаху маятника призведе до вiдставання або прискорення ходу годинника. Розумiючи, що пiдтримувати постiйну амплiтуду (розмах) коливань маятника неможливо, Гюйгенс розробив таку пiдвiску маятника, яка змушувала гиру рухатися по циклоїднiй дузі замість колової. Це робило перiоди коливань маятника однаковими незалежно вiд його амплiтуди [див. iлюстрацiю на наступнiй сторiнцi]. Годинники з маятниками були приблизно у 100 разiв точнiшими вiд своїх попередникiв, а їхнє типове вiдхилення зменшилося з 15 хвилин на день до хвилини на тиждень. Новина про винахiд швидко поширювалася, тож до 1660 року англiйськi та францuzькi майстри вже розробляли власнi версiї нового годинника.

З появою маятника попит на годинники не просто збiльшився — їх почали використовувати як предмет iнтер'єру.



Механічний годинник з пружинним приводом, сконструйований датським годинникарем Саломоном Костером у 1657 році. Костер співпрацював з Хрiстiаном Гюйгенсом, датським науковцем, який уперше застосував маятник у механiчному годиннику.

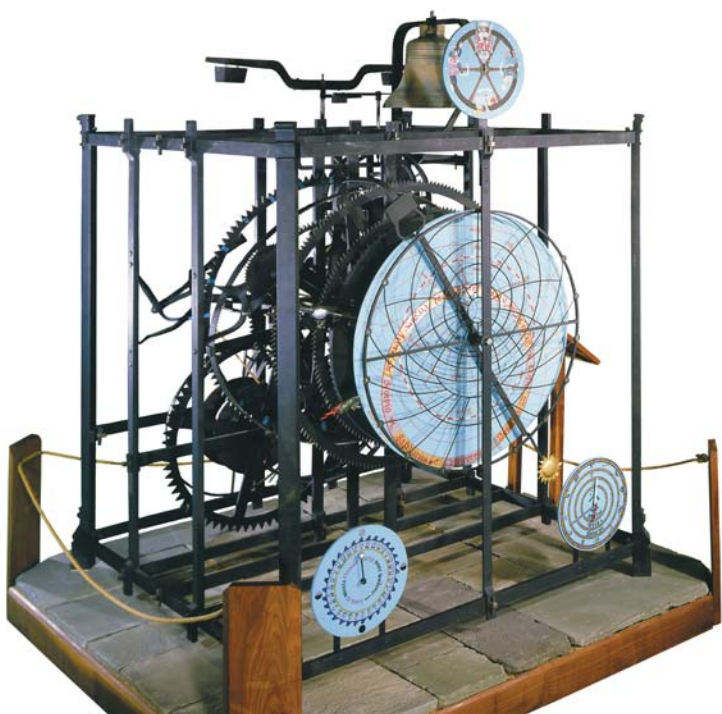
Невдовзі з'явилися національні стилі. Футляри, створені англiйськими майстрами, за формою узгоджувалися з механiзмом годинника, натомiсть їхнi францuzькi колеги бiльше зважали на вигляд та оздоблення самого корпусу. Позаяк Гюйгенса мало цікавили цi моднi напрямки, бiльшiсть часу вiн присвячував удосконаленню свого винаходу, пристосовуючи його як для астрономiчних потреб, так i для визначення довготи у морськiй справi.

Новітні механізми

У 1675 році з'явився другий великий винахiд Гюйгенса — спіральна пружина-волосок. Як гравітація керує маховими осциляціями маятника, так ця пружина регулює обертальні осциляції маховика-баланси у переносних годинниках. Баланс — це добре врівноважений диск, який по чергову повторює повні обертання в один бiк, а потiм — в iнший [див. iлюстрацiю на стор. 61]. Спiральна пружина-

Про автора

Вiльям Дж. Ендрюс — музейний консультант, який понад 30 рокiв спецiалiзується в галузi iсторiї вимiрювання часу. Працював куратором кiльких навчальних закладiв (зокрема Гарвардського унiверситету). Окрiм написання статей до популярних та академiчних журналiв, Ендрюс був редактором книги Деви Соубел "Пошук довготи" та співавтором її книги "Довгота в iлюстрацiях". Одна з останнiх його виставок — "Мистецтво годинника" — експонувалася в Нью-Йоркськiй колекцiї Фрiка.

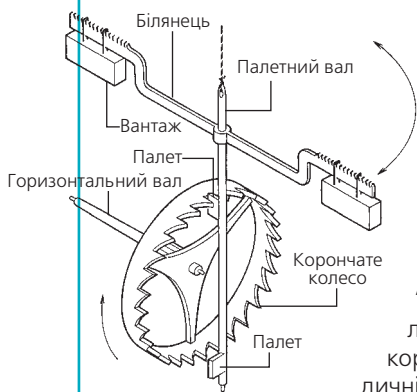


Ранній зразок механічного годинника, який у 1327-1336 роках виготовив Річард із Воллінгфорда — англiйськiй математик i абат монастиря св. Олбана. Годинник допомагав монахам у буденних справах.

Розвиток перших механічних годинників

1. Шпіндельний спусковий механізм з білянцем

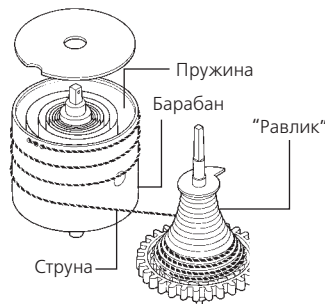
Новаторським компонентом перших механічних годинників (1300-ті роки) був спуск. Цей пристрій одночасно контролював обертання корончастого колеса і передавав енергію, потрібну для підтримання руху осцилятора, який, своєю чергою, регулював швидкість роботи годинникового механізму. Корончасте (або спускове) колесо урухомлює зубчата передача, якій передає енергію струна з вантажем, накручена на горизонтальний вал. Обертання корончастого колеса за годинниковою стрілкою перешкоджають два виступи-палети на вертикальному валі, що несе на собі двораменне корончасте колесо, обертаючись, зачіпає верхній палет (при цьому ми чуємо звук "тік"), зубчик колеса поступово відсуває палет назад, поки той не вивільниться цілком. Щоправда, колесо зупиняється майже одразу, коли нижній палет зачіпає за інший зубець (зі звуком "так") і штовхає вал у протилежному напрямку. Керовані корончастим колесом, періодичні коливання валу та білянца продовжуються доти, доки струна не розмотається повністю. Швидкість роботи механізму можна регулювати, посуваючи вантажі на білянці до краю ("повільніше") або до центру ("швидше").



Корончасте колесо, обертаючись, зачіпає верхній палет (при цьому ми чуємо звук "тік"), зубчик колеса поступово відсуває палет назад, поки той не вивільниться цілком. Щоправда, колесо зупиняється майже одразу, коли нижній палет зачіпає за інший зубець (зі звуком "так") і штовхає вал у протилежному напрямку. Керовані корончастим колесом, періодичні коливання валу та білянца продовжуються доти, доки струна не розмотається повністю. Швидкість роботи механізму можна регулювати, посуваючи вантажі на білянці до краю ("повільніше") або до центру ("швидше").

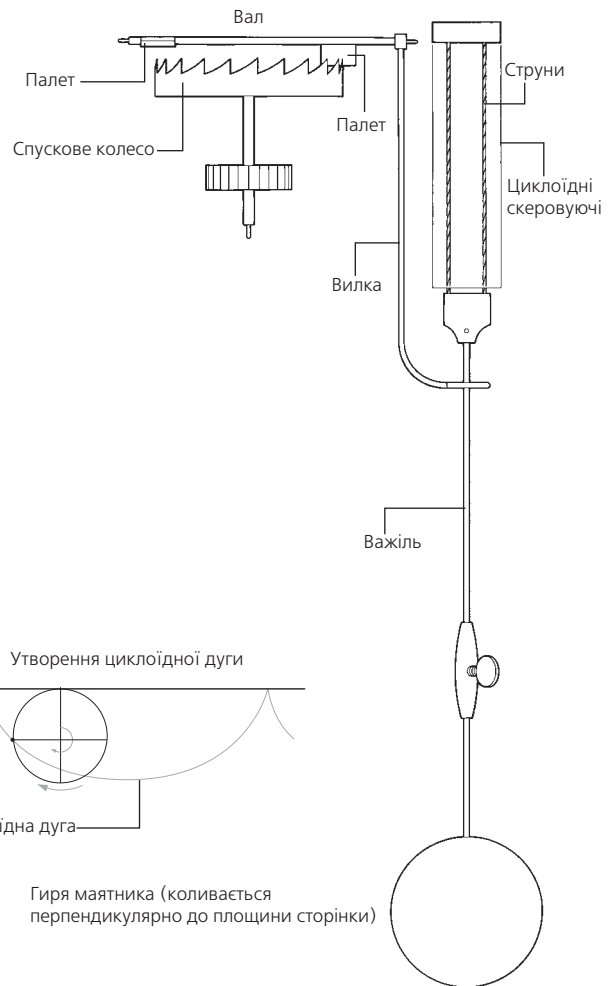
2. "Равлик"

Закручені пружини як привідну силу годинників почали використовувати після винайдення на початку середині 1400-х років "равлика". Хоча пружина – компактна джерело енергії, сила її дії змінюється залежно від ступеня скручення. Для компенсації змінної привідної сили годинникової пружини був винайдений "равлик" – конусоподібний шків із борознами. Барабан, що містив пружину, сполучався із завитком за допомогою ланцюжка або струни. При повному закрученні пружини струна тягне вузький кінець завитка; при цьому коротке рамено створює відносно невелику привідну силу. З часом струна поступово переміщується на завиток. Компенсуючи зменшення сили пружини, діаметр спіральної борозни на завитку поступово збільшується. Тому сила, яка передається шестерням механізму, залишається постійною, незважаючи на зміну напруження пружини.



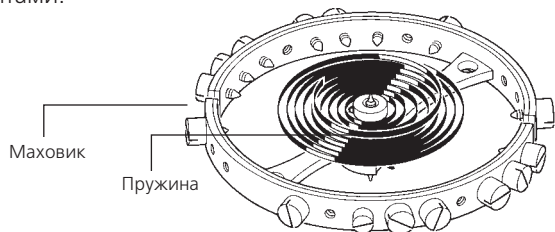
3. Годинник із маятником

Хоч Галілео Галілей, як і багато інших науковців XVI сторіччя, добре знав про потенціал маятника як інструмента для вимірювання часу, першим, хто винайшов маятниковий годинник, був Хрiстiан Гюйгенс. Він швидко збагнув, що маятник коливатиметься тим швидше, чим меншу дугу описуватиме. Гюйгенс вирішив цю проблему, встановивши дві скеровуючі циклоїдні поверхні (показані збоку) в точці підвіски маятника. Діючи на струни підвіски, ці обмежувачі зменшували ефективну довжину маятника зі збільшенням дуги його коливання так, що його траєкторія була не коловою, а циклоїдною (внизу). Отже, теоретично маятник здійснював коливання за однаковий період часу, незалежно від амплітуди (розмаху). У годиннику Гюйгенса рух маятника під дією сили тяжіння повністю замінив механічні коливання горизонтального білянца. Тепер коливання маятника регулювали роботу шпіндельного спуску та обертання шестерень, що своєю чергою забезпечувало точніший та надійніший рух стрілок на циферблаті годинника.



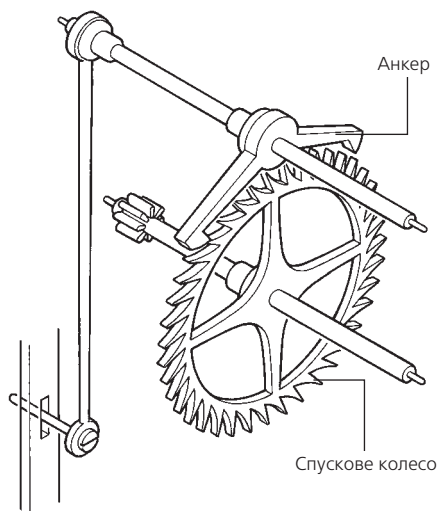
4. Спиральна пружина-волосок

У 1675 році Гюйгенс винайшов спіральну пружину-волосок. Як гравітація керує маяковими осциляціями маятника, так само ця пружина регулює обертальні коливання маявика-баланса у кишенькових годинниках. Баланс – це диск, який по чергову повторює повні обертання в один бік, а потім – в інший. Тут показано сучасну версію, точно збалансовану регульованими гвинтами.



5. Анкерний спуск

Розроблений близько 1670 року в Англії, анкерний спуск – деталь важливого типу, що формою нагадує корабельний якор. Рух маятника коливає анкер так, що він по черзі зачіпає й відпускає кожен зубець спускового колеса, дозволяючи йому обернутися на точно визначений відтинок. На відміну від шпіндельного спуску, використаного в перших маятникових годинниках, анкерний спуск дозволяв маятникові описувати настільки малі дуги, що підтримання циклоїдної траєкторії стало непотрібним. Більше того, цей винахід уможливив використання довгого секундного маятника, зумовивши виникнення нового типу видовжених пристінних корпусів, відомих як "дідусеві" годинники.



DAVID PENNEY (рисунок); NATIONAL MARITIME MUSEUM, LONDON (фотографія)

волосок спричинила революцію на ринку малогабаритних годинників, точність ходу яких коливалася в межах однієї хвилини на день. Таке досягнення майже одразу викликало розширення сфери використання малогабаритних годинників. За новою модою, їх тепер носили не на ланцюжку на шиї, а в кишені.

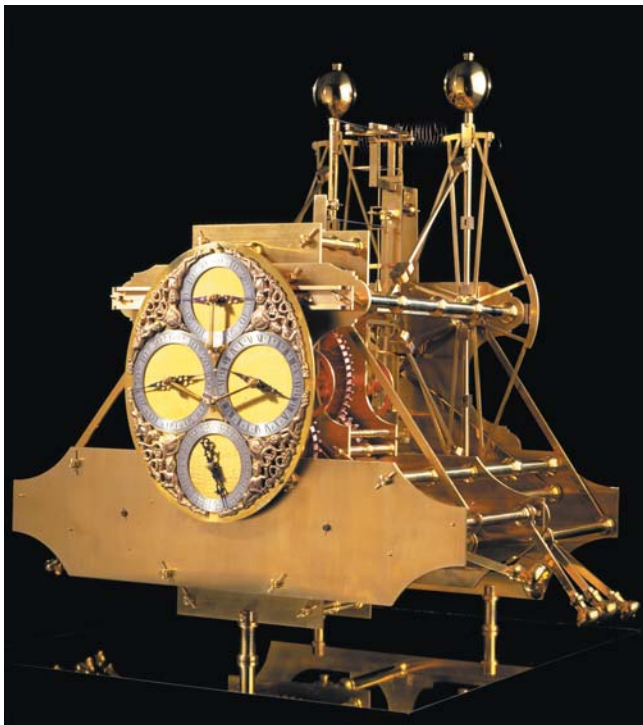
Тим часом Гюйгенс довідався про одне важливе англійське відкриття. Анкерний спуск, на відміну від використаного ним шпіндельного спуску, дозволяв маятникові рухатися по настільки малій дузі, що підтримання циклоїдної траєкторії стало непотрібним. Більше того, цей спуск уможливив використання довгого секундного маятника, що зумовило розробку нового дизайну корпусів. Загально-відомий з 1876 року (завдяки пісні ансамблю American Henry Clay Work) "дідусевий" годинник у видовженому футлярі став одним із найпопулярніших елементів англійського стилю. Годинники у видовжених корпусах з анкерними спусками і довгими маятниками досягнули точності в одну секунду на тиждень. Згодом знаменитий англійський годинникар Томас Томпсон і його послідовник Джордж Грехем модифікували анкерний спуск так, що він працював без відходу. Цей удосконалений механізм, що отримав назву ходу зі спокоем, став стандартом у точному вимірюванні часу на наступних 150 років.

Вирішення проблеми довготи

Одне із завдань, що постало перед Королівською обсерваторією у Грінвічі після її заснування у 1675 році, – визначення правильної морської довготи. Перший Королівський астроном Джон Флемстід використовував годинники з анкерним спуском для вимірювання точних мо-



Королівська Обсерваторія у Грінвічі (Англія) в 1675 році встановила годинники, обладнані анкерними спусками, щоб точніше відстежувати рух зірок. Удосконалені астрономічні карти мали фундаментальне значення для надійної навігації в морі.



Морський годинник H1 Джона Гаррісона увійшов в історію в 1736 році, коли допоміг визначити правильну довготу під час випробувального плавання. Ця копія винаходу англійського теслі була зроблена у 1984 році.

ментів перетину зірками небесного меридіану — уявної лінії, яка сполучає полюси небесної сфери і визначає південний напрямок у нічному небі. Це дозволило йому зібрати точніші — порівняно з отриманими за допомогою куткових вимірювань секстантами або квадрантами — дані про розташування зірок.

Хоч мореплавці відносно легко знаходили у морі свою широту (позицію північніше або південніше від екватора) за висотою сонця або Полярної зірки, небеса не пропонували настільки ж простого способу вимірювання довготи. Шторми і течії часто зводили нанівець намагання стежити за відстанню та напрямком під час океанських подорожей. Відтак виникали навігаційні помилки, які дорого обходилися мореплавним державам не тільки внаслідок збільшення тривалості подорожей, але й ціною втрати людських життів, кораблів та вантажу. В усій своїй непривабливій величці ця проблема постала перед британським урядом у 1707 році, коли на островах Сциллі зазнали аварії чотири кораблі королівського флоту. При цьому загинуло 1600 моряків на чолі з адміралом флоту. Тож у 1714 році британський парламент оголосив про значні винагороди за практичне вирішення проблеми визначення довготи у морі. Найбільшою була премія, що становила 20 000 фунтів (на сьогодні це близько 18 мільйонів доларів). Її міг отримати винахідник такого приладу, який дозволяв би визначати довготу місцезнаходження корабля із точністю до половини градуса або 30 морських миль. За умовою, точність приладу визначалася упродовж плавання до одного з портів у Вест-Індії, де значення довготи можна було перевірити іншими методами.

Чимала сума винагороди викликала зливу легковажних ідей. У результаті Комісія зі знаходження довготи, призначена для розгляду перспективних варіантів, не збиралася на засідання понад 20 років. Щоправда, члени Комісії добре знали про існування двох теоретично обґрунтованих підходів до вирішення цієї проблеми. Перший із них — метод місячних відстаней — вимагав точних вимірювань розташування Місяця відносно зірок з метою знаходження точки спостереження для визначення довготи. Інший метод для отримання тієї ж інформації вимагав застосування дуже точного годинника. Оскільки Земля робить повний оберт кожні 24 години (тобто 15 градусів за годину), то різниця у часі, що становить дві години вказує на різницю довготи у 30 градусів. Однак морські умови ставили значні перешкоди для визначення точного часу. Головні з них — часті й різкі коливання корабля, екстремальні зміни температур та різниця у силі тяжіння на різних широтах. Зваживши на очевидну нездоланність цих обставин, Ісаак Ньютон та його послідовники були переконані, що метод місячних відстаней — єдине життєздатне (хоча й проблематичне) рішення.

Але Ньютон помилився. У 1737 році Комісія врешті збралася вперше, щоб обговорити винахід одного з найнеймовірніших кандидатів — йоркширського тесляра Джона Гаррісона. Об'ємистий годинник Гаррісона використали для визначення довготи під час морської подорожі до Лісабона. На зворотному шляху він довів свою цінність, виправивши помилку в навігаційних обчисленнях штурмана на 68 миль. Щоправда, Гаррісон допустився стратегічної



Настільний годинник з революційним дерев'яним механізмом створив у XIX сторіччі Елі Террі, годинникар із Коннектикута. Його геніальні технології масового виробництва уможливили складання недорогих годинників.

помилки. Замість вимагати корабель для Вест-Індського випробування, він попросив фінансової підтримки для конструювання вдосконаленого приладу – і отримав її. Після двох років роботи, не задовольнившись своєю другою спробою, Гаррісон узявся за третій варіант і трудився над ним 19 років. І лише підготувавши його до перевірки, Гаррісон зрозумів, що його четвертий морський годинник діаметром 5 дюймів, який він розробляв паралельно, був ще кращим. Під час плавання до Ямайки у 1761 році цей годинник зарекомендував себе достатньо добре, щоб отримати винагороду, але Комісія відмовилася присудити її без додаткового випробування. Наступна подорож у 1764 році повністю підтвердила попередній результат. Гаррісону неохоче видали 10 000 фунтів. І тільки в 1773 році, коли особисто втрутився король Джордж III, винахідник отримав решту преміальних грошей. Досягнення Гаррісона надихнуло інших конструкторів. До 1790 року морський хронометр став настільки досконалим, що його основна конструкція вже ніколи не потребувала змін.

Масове виробництво годинників

До початку XIX сторіччя годинники стали доволі точними, але були все ще дуже дорогими. Зрозумівши потенціал ринку, орієнтованого на дешеві годинники, двоє винахідників з Вотербері, штат Коннектикут, взялися до роботи. У 1807 році вони уклали контракт на три роки з Елі Террі (годинникар із сусіднього Плімута) на виробництво 4000 дерев'яних механізмів для годинників із видовженим футляром. Велика попередня оплата дозволила Террі присвятити перший рік роботи конструюванню верстатів для масового виробництва. Швидко виготовляючи взаємозамінні деталі, він завершив роботу згідно з термінами контракту.

Через кілька років Террі сконструював настільний годинник, знову використовуючи методи для масового виробництва. На відміну від годинників із видовженим футляром, які вимагали від покупця придбати корпус окремо, годинник Террі був цілком самодостатнім. Його лише треба було поставити на рівну поверхню і завести. Відтепер багато пересічних людей могли дозволити собі придбати годинник за \$15. Це досягнення заклало основи знаменитої нині годинникової промисловості штату Коннектикут.

Стандартний час

До поширення у XIX сторіччі залізниць місцевий час в американських та європейських містах визначали за сонцем. Скажімо, оскільки полудень у Бостоні настає на три хвилини раніше, ніж у Ворчестері, штат Массачусетс, то бостонські годинники на три хвилини випереджали ворчестерські. Проте мережа залізниць розширювалася, потребуючи однакового часу для всіх станцій на лінії. Астрономічні обсерваторії почали телеграфом повідомляти залізничні компанії про точний час. Перша громадська служба точного часу, започаткована в 1851 році, використовувала сигнали годинника, які надсилала обсерваторія Гарвардського коледжу в Кембриджі, штат Массачусетс.



Ера точного вимірювання часу почалася в 1889 році, коли Зігмунд Ріфлер з Німеччини розробив годинник, який працював у частковому вакуумі для мінімізації впливу барометричного тиску. Регулятор Ріфлера містив також малочутливий до змін температури довкілля маятник (тут не показаний). Завдяки цьому прилад досягав точності в одну десяту секунди на день.

Королівська Обсерваторія запровадила свою службу точного часу на рік пізніше, встановивши стандартний час для всієї Великобританії.

У 1883 році в США були запроваджені чотири часові пояси. Протягом наступного року уряди всіх країн оцінили переваги, які здобули навігація і торгівля, використовуючи всесвітній часовий стандарт. На Міжнародному меридіональному конгресі 1884 року у Вашингтоні земну кулю поділили на 24 часові пояси. Точкою початку відліку учасники обрали Королівську Обсерваторію на нульовому меридіані (лінія з координатою нуль градусів довготи, від якої відмірювалися всі інші значення довготи). Частково це пояснювалося тим, що дві третини світових флотів уже використовували грінвічський час для навігації.

Годинники для мас

Чимало тогочасних годинникарів розуміло, що зниження затрат на виробництво кишенькових годинників призведе до значного перевищення попиту на них порівняно з їхніми великогабаритними родичами. Щоправда, проблема масового виробництва кишенькових годинників ускладнювалася вимогами збільшення точності мініатюрних деталей. Пристосування для масового виробництва запроваджувалися в Європі ще з кінця XVIII сторіччя, але європейські годинникарі побоювалися, що зміна традиційних технологій призведе до насичення ринку і втрати робочих місць. Це неабияк стримувало удосконалення засобів для виробництва деталей кишенькових годинників.

Стурбований підозрами про неспроможність американських годинникарів конкурувати з європейцями, які контролювали ринок наприкінці 40-х років XIX сторіччя, годинникар із Мену Аарон Деннісон зустрівся з Едвардом Говардом, оператором годинникового заводу в Роксбері, штат Массачусетс. Вони говорили про методи масового виробництва кишенькових годинників. Говард і його партнер надали Деннісону необхідні засоби для експериментів та розробки обладнання для проекту. До осені 1852 року

під керівництвом Деннісона було складено 20 кишенькових годинників. До наступної весни його робітники зібрали вже 100 годинників і ще 1000 — протягом наступного року. Виробничих потужностей у Роксбері забракло, тому, змінивши назву, Бостонська годинникова компанія переїхала до Волтхема, штат Массачусетс, де наприкінці 1854 року вже вироблялося 36 годинників на тиждень.

Перші великі прибутки Американська Волтхемська Годинникова Компанія (такою була її повна остаточна назва) отримала завдяки підвищенню попиту на кишенькові годинники під час громадянської війни, оскільки Об'єднана армія використовувала їх для синхронізації своїх дій. Удосконалені технології дозволили наростити обсяги виробництва і знизити ціни. Водночас у США засновувалися інші компанії, які сподівалися перехопити частину зростаючого ринку. Занепокоїлися швейцарці, які домінували в цій галузі, поки у 70-х роках XIX сторіччя не знизився рівень їхнього експорту. До Массачусетсу поїхав швейцарський експерт, який виявив на Волтхемській фабриці не тільки більші виробничі потужності, але й нижчі затрати на виробництво. Навіть деякі з низькопробних американських

годинників працювали достатньо точно. Нарешті кишеньковий годинник став предметом повсякденного вжитку, доступним для масового споживача.

Оскільки жінки у XIX сторіччі носили годинники-браслети, наручні годинники довго вважалися саме жіночими. Щоправда, під час Першої світової війни кишеньковий годинник модифікували, прив'язавши його до зап'ястя, що було зручніше в несприятливих фронтних умовах. Завдяки великій маркетинговій кампанії після війни встановилася мода на чоловічі наручні годинники. Механічні самозавідні наручні годинники з'явилися у 1920-х роках.

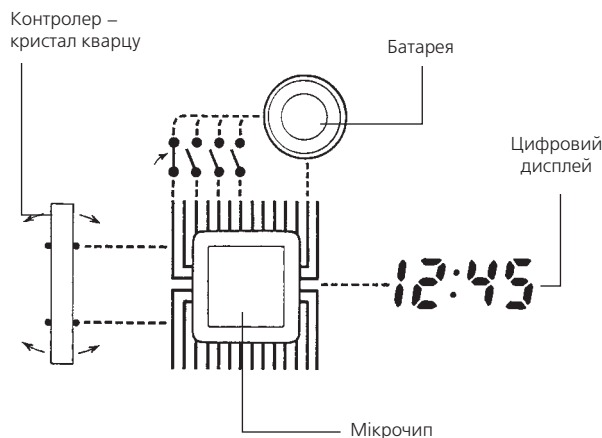
Високоточні годинники

Наприкінці XIX сторіччя Зігмунд Ріфлер із Мюнхена розробив абсолютно новий тип регулятора — високоточний годинник, за допомогою якого контролювали хід інших годинників. Регулятори Ріфлера, які працювали у частковому вакуумі для мінімізації ефектів барометричного тиску й були обладнані маятником, малочутливим до змін температури, досягали точності, яка становила одну

Два новітні точні годинники

1. Кварцовий хід

До кінця 1960-х років годинникарі перейшли від традиційного коливання маятникового колеса до електронних осциляторів на основі транзисторів, що містили мініатюрний камертон, коливання якого перетворювалися на рух стрілок. Одночасний розвиток дешевих малопотужних інтегральних схем та світлових діодів (LED) ініціював пошуки точнішого механізму вимірювання часу. Незабаром годинникарі застосували резонатор на основі кварцового кристала. Кристали кварца п'єзоелектричні — вони вібрують під дією змінного електричного струму й навпаки. Під дією струму з гармонічною частотою кристал осцилює резонансно, подібно до ударів дзвону. Вихідні сигнали осцилятора перетворюються на зрозумілі для цифрових годинникових схем сигнали, які керують LED-дисплеєм або стрілками.



2. Цезієво-фонтанний (атомний) годинник

Для цезієво-фонтанних годинників часовим стандартом є частота електронного спінового переходу, який відбувається в атомі цезію-133 під дією заздалегідь настроєних мікрохвиль. Шість лазерів, розташованих у вакуумній камері, сповільнюють рух атомів газоподібного цезію, утворюючи невелику хмарку (1). Зміна робочої частоти верхнього і нижнього лазера змушує атомну хмару фонтанувати через захищену магнітом порожнину (2). Коли сила тяжіння притягує хмару назад через порожнину, електрони в атомах бомбардують мікрохвильовим генератором (3), випромінювання якого настроюється на визначену частоту п'єзоелектричним кристалічним осцилятором (не показаний). Мікрохвилі обертають спіни електронів, змінюючи їхні квантово-механічні енергетичні стани. У процесі подальшого падіння хмари лазерний зонд викликає флуоресценцію цезію. При цьому відбувається реакція виявлення детектором змінених електронних спінів (4). Вихідний сигнал детектора використовується для незначної корекції, потрібної для налаштування мікрохвильового генератора на точну резонансну частоту, яка й може служити часовим стандартом для годинника.





Годинник із вільним маятником винайшов на початку 1920-х років Вільям Шортт, англійський інженер-залізничник. Годинникові системи Шортта, які склалися з пари маятникових годинників – головного (праворуч) і допоміжного (ліворуч), – підтримували точність у межах однієї секунди на рік.

десяту секунди на день, і тому були встановлені майже в усіх астрономічних обсерваторіях.

Наступний великий крок було зроблено через кілька десятиріч, коли англійський інженер-залізничник Вільям Шортт розробив годинник із так званим вільним маятником, який надійно зберігав точність в одну секунду на рік. Система Шортта складалася з двох маятникових годинників – головного (знаходився у вакуумному резервуарі) та допоміжного (містив циферблати). Кожні 30 секунд допо-

міжний годинник подавав електромагнітний імпульс головному годинникові, регулюючи свій хід за допомогою маятника головного годинника, вільного від механічних впливів.

Хоч на початку 1920-х років годинники Шортта й почали витісняти регулятори Ріфлера з астрономічних обсерваторій, їхнє панування було недовговічним. У 1928 році Воррен Меррісон, інженер лабораторій Белла у Нью-Йорку, відкрив надзвичайно однорідне й надійне джерело частоти, яке зробило таку ж революцію в годинникарстві, як маятник 272 роки тому. Розроблений спочатку для використання у радіопередавачах, кварцовий кристал, який збуджують електричним струмом, вібрує з високорегулярною частотою [див. ілюстрацію на протилежній сторінці]. Перші кварцові годинники, встановлені у Королівській Обсерваторії в 1939 році, помилялися лише на дві тисячних частки секунди на день. До кінця Другої світової війни цю точність довели до однієї секунди на 30 років.

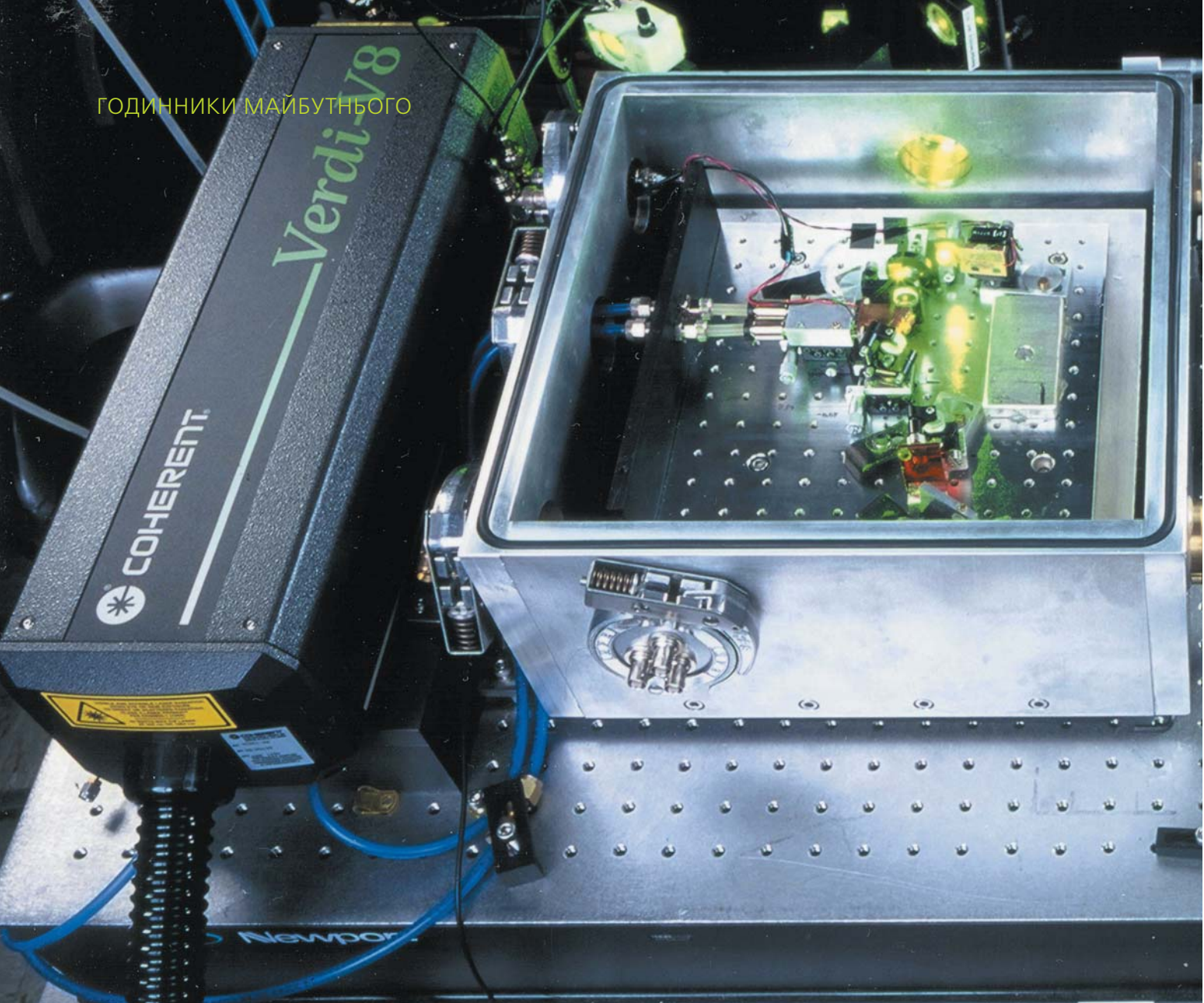
Втім, технологія кварцових кристалів також недовго була головним стандартом частоти. У 1948 році Гарольд Лайонс разом із колегами з Національного бюро стандартів у Вашингтоні створив перший атомний годинник. В його основу було покладено значно точніший часовий стандарт – природну резонансну частоту атома, тобто періодичну осциляцію між його двома енергетичними станами [див. ілюстрацію на протилежній сторінці]. Подальші експерименти 1950-х років у США та Англії привели до винайдення цезій-променевого атомного годинника. Сьогодні зведені покази цезієвих годинників у різних частинах світу забезпечують стандарт частоти для координованого універсального часу (його відхилення не перевищує однієї наносекунди на день).

До середини ХХ сторіччя для визначення стандарту часу використовувався добовий період обертання Землі навколо своєї осі відносно зірок. Ця традиція вперто зберігалася, хоча вже з кінця ХVIII сторіччя вчені підозрювали, що осьове обертання нашої планети нестабільне. Поява цезієвих годинників, здатних вимірювати похибки обертання Землі, врешті дозволила внести необхідні зміни. Нове визначення секунди, що ґрунтується на резонансній частоті атома цезію, було прийняте як нова стандартна одиниця часу в 1967 році.

Точність вимірювання часу має виняткову фундаментальну важливість для науки. Тому досі триває пошук шляхів її підвищення. Наступні покоління атомних годинників – воднево-мазерний (частотний осцилятор), цезієво-фонтанний і, зокрема, оптичний годинник (обидва – частотні дискримінатори) – досягнуть точності (стабільності) у 100 фемтосекунд (100 квадрильйонних частки секунди) на день [див. статтю Вейта Гіббса “Найточніші годинники” на стор. 66].

Хоч у майбутньому наші можливості вимірювання часу вдосконаляться, ніхто не заперечить того факту, що ця тема завжди буде предметом наукового пошуку.





ОГЛЯД

- Ренесанс, що триває у виробництві атомних годинників, покращить точність хронометрії в 1000 разів.
- Теоретично, час можна виміряти з нескінченною точністю. Але сила тяжіння і рух викривлюють час, що накладає практичне обмеження на точність годинників.
- Життя атомних годинників короткочасне. Тому інженери розробляють ще й механічний годинник, який міг би працювати протягом 10 000 років.

Найточніші ГОДИННИКИ

Атомні годинники зменшуються до розмірів мікрочипа, вирушають у космос, а їхня точність наближається до межі, за якою подальше покращення не має сенсу

Вейт Гіббз



В ОПТИЧНОМУ ГОДИННИКОВОМУ МЕХАНІЗМІ для зняття часових сигналів зі збуджених атомів використовують короткі світлові імпульси.

У травні цього року десятки провідних світових виробників годинників зібралися в Новому Орлеані, де впродовж тижня демонстрували свої найсвіжіші винаходи. Серед них не було механіків — усі як один науковці, а їхні розмови торкалися не шестерень і маятників, а спектрів і квантових рівнів. Не позаздриш сьогодні тим, хто завтра виготовлятиме найточніші годинники, — вони змушені просуватися в царині фізики і техніки одразу в кількох напрямках. Ці відчайдухи об'єднують лазери, які генерують імпульси тривалістю одна квадрильйонна секунди, з камерами, де охолоджують атоми до кількох мільйонних часток градуса — практично, до абсолютного нуля. Крім того, вони захоплюють окремі йони в пастки зі світла й магнетичних полів і керують спінами електронів при їх обертанні.

Завдяки значним технічним досягненням мистецтво надточної хронометрії упродовж останніх 30 років розвивається небаченими темпами. Сьогодні добротний годинник на пучку атомів цезію (наприклад, Agilent, що коштує \$63 000) відрховує час із похибкою, меншою від однієї

мікросекунди на місяць. Прототипом одиниці часу для США став годинник на “цезієвому фонтані”, який у 1999 році запусив у дію Національний інститут стандартів і технології (NIST) в Боулдері, штат Колорадо. Його похибка становить 10^{-15} секунди. Він іде в 500 разів точніше, ніж кращий годинник NIST зразка 1975 року. Проте годинники, що використовуватимуться з 2005 року на Міжнародній космічній станції для відліку часу у відкритому космосі, за прогнозами, даватимуть похибку меншу за 10^{-16} секунди. А поява успішних прототипів нових годинникових конструкцій — приладів, що визначатимуть час за допомогою атомів кальцію та іонів ртуті, — дає підстави очікувати, що точність вимірювання сягне позначки 10^{-18} (1000-кратне зростання менш ніж за десять років).

Втім, “точність” може бути не зовсім адекватним терміном. У 1967 році міжнародна постанова означила секунду як “тривалість 9 192 631 770 періодів випромінювання, що відповідає переходові між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133”. Не вдаючись до подроби-

ць, зауважимо головне: щоб виміряти одну секунду, потрібно спостерігати за цезієм. Невдовзі у найточніших годинниках не використовуватимуть цезій, а тому, відверто кажучи, вони не мірятимуть секунди. У цьому й полягає одне з ускладнень, що постає перед виробниками годинників.

Детальний аналіз виявляє істотніше обмеження: згідно з теорією Айнштейна, підтвердженою експериментально, час — не абсолютний. Частота будь-якого годинника зменшується зі зростанням сили тяжіння, під час швидкого руху відносно спостерігача і навіть тоді, коли випромінюється фотон при перестрибуванні електрона з однієї орбіти на іншу або при переорієнтації його магнетних полюсів. Встановивши надточний годинник на космічній станції, вчені збираються якнайжорсткіше випробувати теорію відносності. Але щойно годинники досягнуть точності 10^{-18} (похибка менш ніж на півсекунди за час існування Всесвіту), — вже релятивістські ефекти почнуть випробовувати вчених. Адже технології, яка б синхронізувала роботу годинників у всьому світі з такою точністю, просто немає.

Винаходимо точність

Навіщо ж тоді вдосконалювати атомні годинники? Тривалість секунди вже сьогодні можна виміряти з точністю до 14 знаків після коми. Ця точність у 1000 разів вища,

ПОРТАТИВНА ТОЧНІСТЬ

Атомні мікрогодинники

“Менш ніж за 100 доларів я можу зібрати десятиватну “глушилку”, привезти її до Нью-Йорка й заблокувати всі GPS-сигнали в місті”, — хизується Дональд Салліван з NIST. А між тим, усі види навігації залежать саме від GPS. Мініатюрні атомні годинники можуть зробити її надійнішою. Зменшені до розмірів наручного годинника, вони могли б уміститися в самих GPS-приймачах. Висока точність дозволить системі працювати у значно вужчому діапазоні частот, уникаючи потенційного впливу станції перешкод.

“Управління перспективних досліджень та оборонних ініціатив (DARPA) виділило 20 мільйонів доларів на програму розробки атомного годинника на одному кристалі для шифрованого зв'язку і GPS-приймачів”, — говорить Салліван. У 1999 році вчені NIST створили прототип об'ємом 15 см^3 . Їхня остання розробка менша на 95%. Якщо ж вдасться виготовити наручні атомні годинники, то призначатимуться вони не для показу часу з точністю до наносекунди, а для збереження таємниці ваших телефонних розмов.

—В. Г.

ніж для будь-якої іншої фундаментальної одиниці. Три із шести інших основних одиниць СІ — метр, люмен і ампер — сьогодні означають через секунду. На черзі, ймовірно, кілограм і моль. “Переозначення кілограма — справа часу”, — говорить Річард Штайнер з NIST. Використовуючи знамените співвідношення $E=mc^2$, вчені можуть встановити відповідність одиниці маси еквівалентній кількості енергії (наприклад, сукупності фотонів із певною сумою частот). Удосконалюючи годинники, вчені вдосконалюють методику вимірювання не лише часу, але й інших фізичних величин.

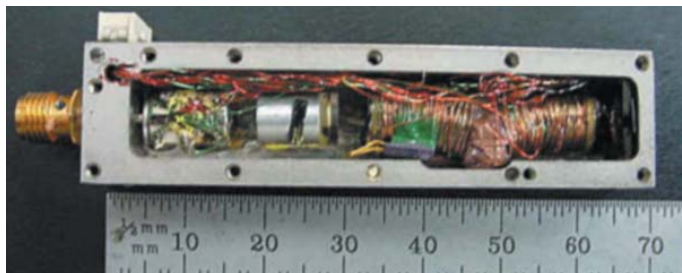
Підвищення стабільності й компактності годинників надасть нового імпульсу розвитку навігації, підвищить точність та надійність Глобальної системи визначення положення та її майбутнього аналога — європейської системи Galileo. Кращі годинники допомагатимуть NASA стежити за своїми супутниками, дозволять службам і телекомунікаційним компаніям знаходити пошкодження в мережах, допоможуть геологам точно визначати місця землетрусів та випробовувати атомних бомб. Астрономи використають їх для об'єднання телескопів, що значно покращить чіткість їхніх зображень. А недорогі атомні годинники завбільшки із мікрочип [див. вставку внизу], напевно, матимуть безліч застосувань, про які ми навіть не здогадуємося.

Щоб зрозуміти, чому хронометрія розвивається такими галопуючими темпами, погляньмо, як працюють атомні годинники. У принципі, атомний годинник схожий на будь-який інший хронометр. Тактовий генератор рівномірно “цокає”, а лічильник перетворює ці коливання на секунди. Маятник у цезієвому годиннику не механічний (як звичайний маятник) чи електромеханічний (як кристал кварцу). Він — квантово-механічний: електрон на зовнішній орбіті атома цезію поглинає фотон, що змінює напрямок його магнетного поля і спіну на протилежні.

На відміну від маятників і кристалів, усі атоми цезію однакові. Коли їх опромінити мікрохвилями з частотою $9\ 192\ 631\ 770 \text{ Гц}$, то у них відбудеться переорієнтація спіну. Щоб виміряти секунди, мікрохвильовий генератор годинника налаштовують на вузьку смугу частотного спектру, в якій більшість атомів цезію реагують на випромінювання. Далі починається підрахунок періодів.

Звичайно, квантова механіка не знає простоти. Як завжди, свиню підсовує принцип невизначеності Гайзенберга, який накладає суворе обмеження на точність вимірювання частоти окремого фотона. Найкращі сучасні годинники, вимірюючи час (незважаючи на принцип Гайзенберга), сканують смугу завширшки 1 Гц , щоб знайти середину з точністю до 1 мГц . “Ми можемо це зробити, бо одночасно спостерігаємо за більш ніж мільйоном атомів, — пояснював Курт Гіббл, фізик із Пенсильванського державного університету. — Ми не порушуємо законів квантової механіки, оскільки, власне, проводимо не одне вимірювання”.

Але це рішення породжує інші проблеми. За кімнатної температури цезій — м'який метал сріблястого кольору. У ваших долонях він плавиться, перетворюючись на золотисту калюжку. Втім, гратися з ним не варто, бо він активно вступає в реакцію з водою. Під всередині цезієвого годинника нагріває метал доти, доки атоми не випаруються. Ці гарячі частинки проносяться крізь мікрохвильовий ре-



Остання межа?

АТОМНИЙ ГОДИННИК PHARAO, виготовлений у французькому Національному центрі космічних досліджень у співпраці з іншими лабораторіями в рамках проекту ACES, було випробувано в умовах невагомості під час авіаперельоту (*праворуч*). Планується, що він полетить на Міжнародну космічну станцію в 2005 році. Разом із PARCS, аналогічним інструментом, що розробляється у лабораторіях США, *Pharao* призначений для вимірювання часу з найвищою, порівняно з усіма земними годинниками, точністю. Охолоджені до наднизьких температур кулькоподібні згустки атомів цезію пропускають через мікрохвильовий резонатор, що змінює напрям спіну їхніх електронів. Зондувальний лазер повторно опромінює атоми й визначає, скільки атомів досягнуло потрібного стану. Петля зворотного зв'язку підлаштовує частоту мікрохвильового випромінювання, поки вона не досягне резонансної частоти перекидання спіну електрона в атомі цезію, яка стабілізує "маятник" годинника. Далі електроніка відраховує 9 192 631 770 періодів мікрохвильового випромінювання, що, згідно з міжнародною угодою, точно відповідає тривалості однієї секунди.



зонатор з різними швидкостями й під різними кутами. Деякі рухаються настільки швидко, що (за законами релятивізму) поведуться так, наче час уповільнився. Щодо інших атомів, то здається (внаслідок дії ефекту Доплера), що частота стає вищою або нижчою. Атоми більше не однакові й зростання коливань сповільнюється.

Вельмишановний доктор Гайзенберг, імовірно, запропонував би зменшити швидкість атомів. Розробники годинників так і вчинили. Чотири найкращі у світі годинники — в NIST, у Вашингтонській морській обсерваторії, в Паризькому та Брауншвейзькому інститутах стандартів — працюють за принципом викиду згустків охолоджених до наднизьких температур атомів цезію через мікрохвильовий резонатор по фонтаноподібній дузі [див. ілюстрацію до статті "Годинниковий літопис" на стор. 64]. Щоб сконденсувати гарячий цезієвий газ у згусток, шість перехресних лазерних пучків сповільнюють атоми до температури, меншої від двох мікрокельвінів, тобто, практично зупиняють їх. Низька температура зводить до мінімуму вплив релятивістських

та доплерівських зсувів, даючи двометровому фонтанному годинникові півсекунди на переорієнтацію атомних спінів. Фонтанні годинники, що з'явилися в 1996 році, швидко зменшили похибку міжнародного атомного часу на 90%.

Час у космосі

Чимало зусиль втрачено на створення еталона секунди, проте фонтанні годинники все ще продовжують працювати. "Щоб удвічі збільшити час спостереження, треба вчетверо збільшити висоту башти", — говорить Дональд Салліван, керівник відділу часу і частоти в NIST. Однак замість добати діру в стелі своєї лабораторії, Салліван керує одним із трьох проектів підготовки фонтанних годинників до відправлення на Міжнародну космічну станцію. "У космосі ми можемо запустити атомний "м'яч" зі швидкістю 15 см/с через 74-сантиметровий резонатор. Тому матимемо 5-10 секунд для спостереження за ним", — пояснює він. Проект Головного космічного атомного еталон-

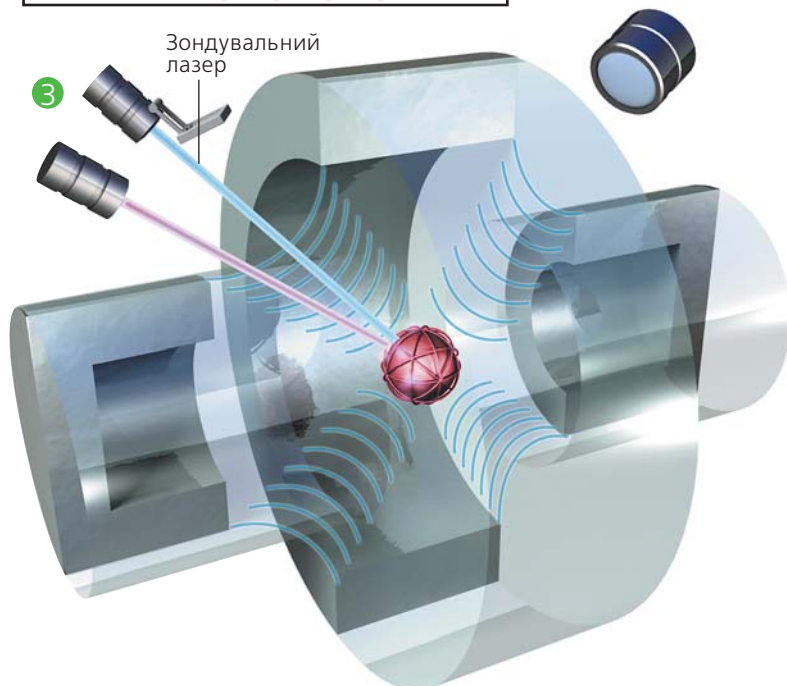
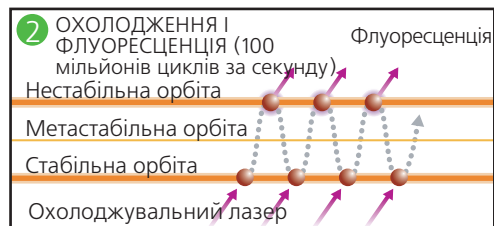
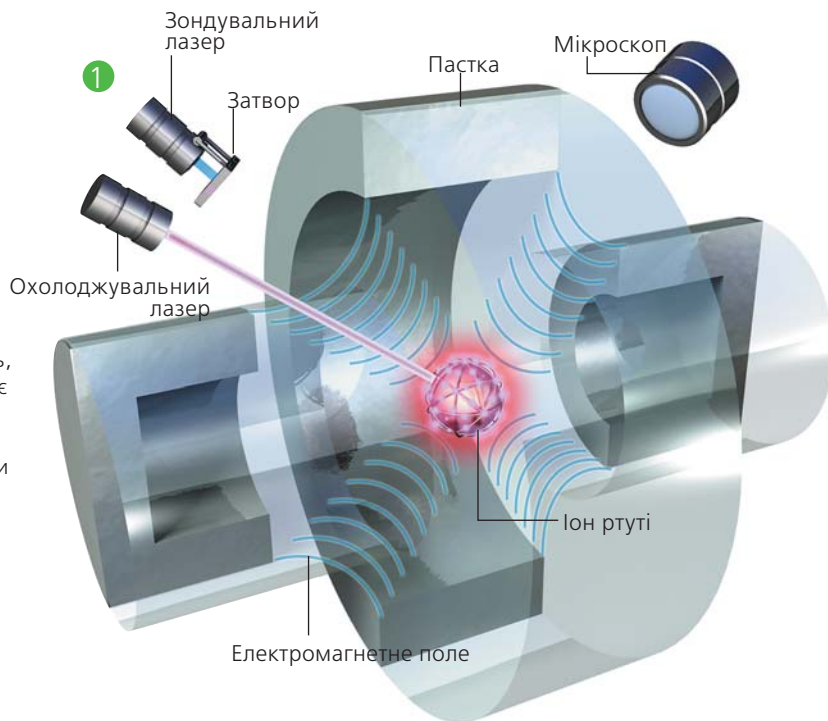
Видобуток часу з атома

КОЖЕН ГОДИННИК має щонайменше дві основні складові частини – генератор і лічильник. Високу точність атомного годинника забезпечує третій елемент – система зворотного зв'язку, яка періодично звіряється з атомним еталоном. Це підтримує майже ідеальну періодичність частоти генератора. У найдосконалішому

оптичному йонному годинникові роль генератора виконує зондувальний лазер ультрафіолетового діапазону. Імпульси інфрачервоного лазерного світла подаються на лічильник. Абсолютним еталоном служить електрон, що обертається навколо єдиного, майже нерухомого атома ртуті. В. Г.

Захоплення і оброблення

АТОМ, що випаровується в печі з поверхні ртуті, під дією електричного струму втрачає один з електронів і йонізується, набуваючи позитивного заряду. Далі електромагнетне поле утримує йон в центрі кільцеподібної пастки (1). Пучок так званого охолоджувального лазера (пурпурний) змушує електрон, що перебуває на зовнішній орбіті йона, мільйони разів за секунду перестрибувати на вищу нестабільну орбіту. Повертаючись на основний рівень, електрон щоразу флуоресцює (2). Флуоресценція має дві функції: вона охолоджує атоми майже до абсолютного нуля і дозволяє вченим перевірити (за допомогою мікроскопа), що годинник і далі йде. Коли атом холодний, стабільний і світиться – він готовий стати годинниковим еталоном.



Прозондований і завішений

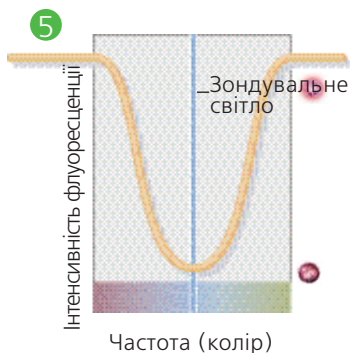
ФУНКЦІЇ МАЯТНИКА в йонному годиннику виконує зондувальний лазер (блакитний). Колір фотонів, що їх випромінює лазер, відповідає частоті їхніх осциляцій. Для перевірки того, чи їхня частота не змінилася, лазер періодично освітлює атом ртуті (3). Вчені налаштовують зондувальне світло на певну частоту, яка вибиває електрон на зовнішній йонній орбіті на метастабільну орбіту, "завішуючи" електрон майже на півсекунди (4). Коли лазер налаштований на цю частоту, електрон перестає флуоресцювати і йон темніє. Якщо частота лазерного генератора порушується, свічення йона відновлюється.



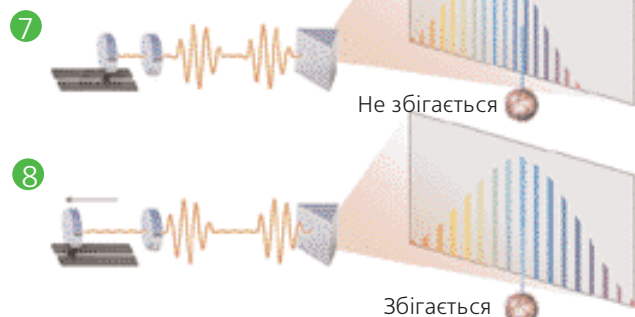


Налаштований і вимірний

СИСТЕМА ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ змінює колір лазера, поки інтенсивність флуоресценції не досягне мінімуму (5). Тепер стабільно осцилююче зондувальне випромінювання проходить через оптоволочно до лічильника. Зондувальне світло пульсує з частотою близько квадрильона разів за секунду – занадто швидко для прямого підрахунку. Третій лазер працює як сповільнювач, знижуючи частоту часового сигналу із квадрильона циклів за секунду до одного мільярда.



Цей лазер випромінює фемтосекундні імпульси в інфрачервоному діапазоні з певними інтервалами між імпульсами (6). Секрет полягає в досягненні досконалої синхронізації частоти імпульсів із частотою зондувального випромінювання. Для цього в годинниковому механізмі використовують цікаве фізичне явище: проходячи крізь призму, кожен ультракороткий імпульс розкладається на веселку кольорів, розділених однаковими частотними інтервалами, що дуже нагадує зубці на шестерні (7 і 8). Рухаючи юстувальним дзеркалом, вчені змінюють інтервал між імпульсами, розтягуючи або звужуючи діапазон частот кожного імпульсу. Це дає їм змогу розташувати “шестерню” так, щоб один із її “зубців” відповідав кольорові (а отже й частоті) зондувального випромінювання. Так частота імпульсів жорстко прив'язується до частоти випромінювання йона ртуті. Далі електронний детектор підраховує синхронізовані імпульси (мільярд за секунду), фіксуючи плин часу.



BRYAN CHRISTIE DESIGN

ного годинника (PARCS) вартістю 25 мільйонів доларів, над яким він працює, має звести похибку вимірювання секунди до 5×10^{-17} .

Якщо запланований на кінець 2005 року запуск PARCS відбудеться, то на космічній станції він, можливо, працюватиме в парі з Космічним атомним годинниковим ансамблем (ACES) – приладом, який розробляє Європейське космічне агентство. Обидва годинники із точністю до 99,99997% вимірюватимуть вплив мікрогравітації на навколоземній орбіті на сповільнення часу та визначатимуть різницю з наземними показами.

Третій годинник – Рубідієвий атомний годинниковий експеримент (RACE) – заплановано запустити в космос у 2008 році, хоча Гіббл, який керує проектом, сподівається на скорочення термінів. Сама назва підказує, що в RACE добре знайомий розробникам годинників цезій замінюють іншим лужним елементом. “У найдосконаліших цезієвих фонтанах найбільше джерело похибок – так звані холодні зіткнення”, – пояснює Гіббл. При температурі, близькій до абсолютного нуля, починають діяти закони квантової фізики, і поведінка атомів стає хвильовою. “Вони стають у сотні разів більшими, ніж у нормальному стані. Тому зіткнення набагато частіші. При температурі 1 мкК цезій має майже максимальний поперечний переріз, – продовжує він. – Але ефективний діаметр атома рубідію в 50 разів менший”. Це дозволить RACE досягнути похибки вимірювань 10^{-17} , що становить 1/5 похибки PARCS і ACES.

Рубідієві годинники мають ще одну перевагу – зручність спостереження за флуктуаціями сталої тонкої структури. Ця стала визначає силу електромагнетної взаємодії в атомах та молекулах. Вона дорівнює приблизно 1/137. Це безрозмірна величина, що впливає зі Стандартної моделі, і немає якоїсь очевидної причини, щоб стала набувала саме такого значення. Однак це число важливе – спробуйте сильно змінити його, і Всесвіт не зможе підтримувати життя у тому вигляді, в якому ми його бачимо.

У Стандартній моделі стала тонкої структури не змінюється цілу вічність. Але в деяких альтернативних теоріях (наприклад, у певних теоріях струн) може злегка коливатися і зростати з плином часу. У серпні 2001 року група астрономів повідомила попередні дані, що за останні шість мільярдів років стала могла зрости на одну десятитисячну. Але з'ясувати істину в цьому питанні важко. Порівнюючи рубідієві годинники з хронометрами на основі цезію та інших елементів, учені зможуть опустити межу можливих флуктуацій у 20 разів.

Лазери владарюють

Незважаючи на заміну цезію рубідієм, RACE залишиться типовим еталонним фонтанним годинником, де лазери охолоджують атоми, а мікрохвилі керують електронами і визначають час. Це – перевірена і надійна конструкція. Але невдовзі вона застаріє.

У серпні 2001 року Скотт Діддам і його колеги з NIST доповіли про короточасний пробний запуск приладу, про який чимало розробників годинників говорили, що ніколи “вживу” його не побачать, – оптичний атомний годинник

Вічний годинник

САН-РАФАЕЛЬ, КАЛІФОРНІЯ. На веб-сайті NASA з'явилося повідомлення, що атомний хронометр, призначений для космічної станції, "буде найточнішим за всю історію годинником, здатним вимірювати час із похибкою в одну секунду на 300 мільйонів років". Виробники атомних годинників часто говорять, що їхні хронометри могли б безперервно йти сотні тисяч років. Усе це пусті балачки, адже типовий цезієвий годинник витримує щонайбільше 20 років. Пристойний наручний годинник служить довше.

Однак тут, у малому механічному цеху на північ від Сан-Франциско, невелика група футуристів та інженерів удосконалює конструкцію механічного годинника, щоб змусити його працювати більш ніж 10 000 років. Годинник Long Now (так його назвав головний розробник Денні Гілліс) – і соціологічний експеримент, і функціональний хронометр водночас.

"Годинник – символ неперервності. Відраховуючи час упродовж справді тривалого проміжку, він дасть людям відчуття перспективи, дасть змогу думати про далеке майбутнє як про прийдешню реальність, а не просту абстракцію, – говорить Гілліс. – Наша цивілізація існує приблизно 10 000 років. Це й спонукало мене обрати такий гарний проміжок часу для погляду в майбутнє".

На перший погляд, Гіллісові мало пасує роль лідера руху проти людських упереджень. У 80-х роках він розробляв суперкомп'ютери, в 90-х працював у парках відпочинку. Сьогодні він може дозволити собі виділити годину на інтерв'ю лише в тому випадку, якщо половина його відбудеться на шляху до Силіконової долини, де у нього призначена чергова зустріч.

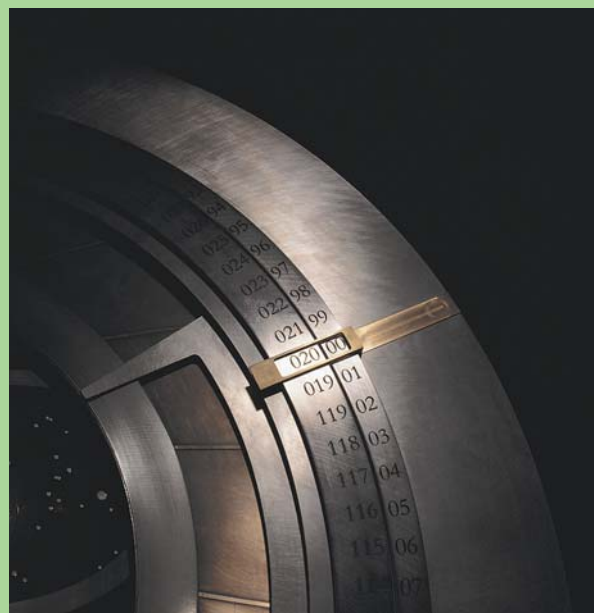
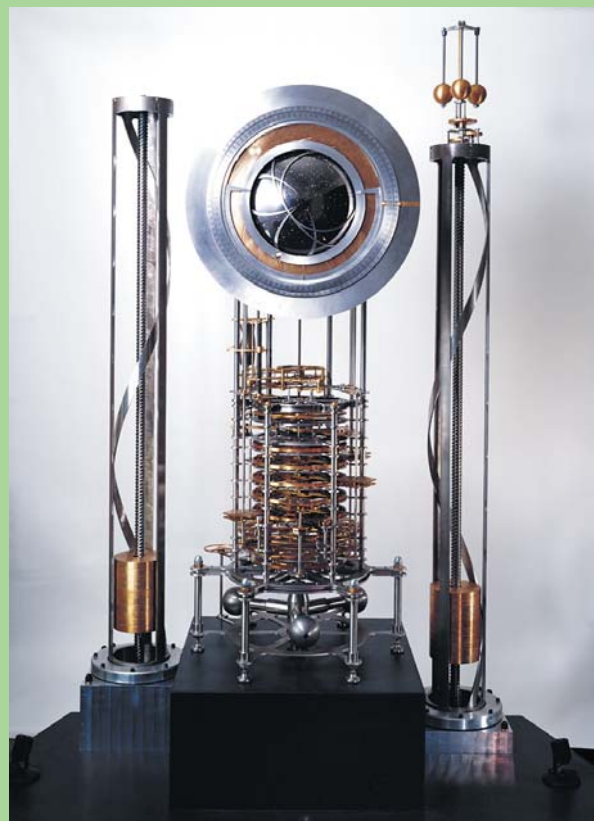
Однак за активної участі письменника Стюарта Бранда, музиканта Браяна Ено та інших колег Гілліс намагається створити предмет, що не лише витримає перевірку часом, але й надихатиме людей. Годинник потрібно буде заводити раз на рік. "І коли ви вперше підійдете до нього, він показуватиме лише час останніх відвідин іншої людини, – пояснює Гілліс. – Щоб він показав, котра година, доведеться його завести, надати йому енергії".

Бранд і Гілліс спільно очолюють фонд (www.longnow.org), який нещодавно придбав гірську вершину в Неваді. В її надрах вони мають намір встановити остаточну версію гігантського годинника. Крізь прогалину в склепінні печери промені полудневого сонця фокусуватимуться на біметалевій стрічці, перекидаючи гирьку годинника й коректуючи його хід у випадку відхилення від реального часу.

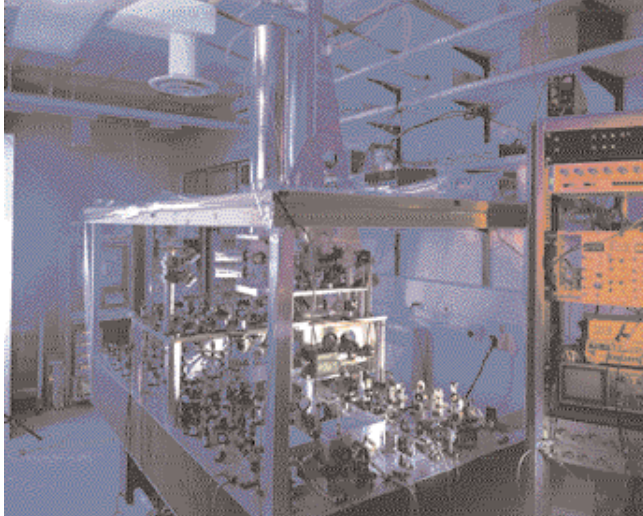
Хоч усе це неабияк позначене духовністю, "ми не хочемо створювати нову релігію", заявляє Бранд, стоячи біля експериментальної моделі другого прототипу годинника. Цей годинник удвічі більший від першого, виставленого в Музеї науки у Лондоні. Замість циферблата красується велика модель Сонячної системи, на якій вказано розташування планет.

Під циферблатом – сім металевих кілець діаметром 75 см кожне, оточених по периферії важелями. Коли кільця обертаються, вертикальні шпильки на них урухомлюють важелі. Відраховуючи години й визначаючи дату, пристрій працює як механічний двійковий комп'ютер. Оскільки годинниковий механізм повністю механічний і легко доступний для огляду, "кожен зможе здогадатися, як його запустити, навіть через сторіччя", – говорить Гілліс. Але тільки час покаже, чи отримає ця ідея фінансову підтримку, достатню для першого запуску 10 000-літнього годинника.

- В. Г.



10 000-літній годинник, який розробляє фонд Long Now, буде повністю механічним. Як і в першому прототипі годинника (*вгорі*), в остаточній монументальній версії для підрахунку хвилин, імовірно, використовуватиметься крутильний маятник. Але цей годинник (*внизу*) показуватиме лише роки, століття і тисячоліття.



ЕТАЛОННИЙ ГОДИННИК США – NIST-F1 на цезієвому фонтані в Боулдері, штат Колорадо. Його покази, а також покази ще 200 надточних годинників усереднюють і виводять Всесвітній скоординований час (UTC) – час за Грінвічем.

на одному атомі ртуті. Загалом, це природна ідея – перейти від мікрохвиль з гігагерцовою частотою до видимого світла в терагерцовому діапазоні частот. Оптичні фотони нагромаджують достатньо енергії, щоб перекинути електрони одразу на наступну орбітальну оболонку. Тож немає потреби метушитися навколо таких тонкощів, як спін. Та хоч “маятник” і працює на терагерцовій частоті, з лічильником – серйозні проблеми.

“Ніхто не знає, як підрахувати 10^{16} періодів за секунду, – зазначає Ерік Барт із Лабораторії реактивного руху в Пасадені, Каліфорнія. – Нам потрібна проміжна ланка для переходу до мікрохвильового режиму, де ми вже маємо електронні лічильники”.

Зазирнімо в царство оптики. У 1999 році Томас Удем, Теодор Генш та інші вчені з Інституту квантової оптики ім. Макса Планка в Гарчінгу знайшли спосіб прямого вимірювання оптичних частот за допомогою лазера, що випромінює імпульси з частотою 1 ПГц. Тривалість кожного світлового імпульсу не перевищує кількох десятків фемтосекунд. (Фемтосекунда – надзвичайно мала одиниця вимірювання часу. У кожній секунді більше фемтосекунд, ніж минуло годин від моменту Великого вибуху). Лазер дає неперервний пучок світла одного кольору, але в імпульсному режимі під час кожного спалаху ви отримуєте певну сукупність кольорів. Спектр фемтосекундного імпульсу чудернацький: мільйони чітких ліній утворюють веселку; кожна лінія відділена від сусідньої однаковим проміжком – як поділкі на лінійці. “Розробити лазер, що випромінюватиме імпульси мільярд разів за секунду і буде стабілізований за частотою з точністю до 1 Пц, – щонайменше нереально”, – скептично говорить Гіббл.

Група Діддамса з NIST створила найпростіший оптичний годинниковий механізм на йонах ртуті, захоплених в електромагнетну пастку [див. ілюстрацію на стор. 70]. Йони несуть позитивний заряд, бо кожен атом втрачає один електрон. Йони відштовхуються, тому про взаємні зіткнення можна забути. І хоча прилад надто нестабільний, щоб працювати постійно, він забезпечує точність вимірювання 6×10^{-16} упродовж однієї секунди. Збільшення тривалості

роботи могло б довести похибку до 10^{-18} . “Ртуть – не ідеальний робочий елемент, – визнає Салліван. – Тактовий перехід годинника можна змінити за допомогою магнетних полів, вплив яких узагалі важко усунути. Але в індію ці переходи виглядають привабливіше”.

Удем і Генш ідуть попереду на один крок. Вони вивчають поведінку іона індію. Він, видається, цілком спроможний перенести годинники, за словами Гіббла, “у вісімнадцяті”. Групи з Федерального інституту фізики і метрології в Брауншвейгу та з інших наукових центрів експериментують із незарядженими атомами кальцію. Оскільки нейтральні атоми можна розташувати у пастці щільніше, ніж іони, висота звуку перевищує рівень шумів. “Тому питання – чи працюватиме годинник з 50 йонів краще, ніж годинник зі 100 мільйонів нейтральних атомів? – залишається нез’ясованим”, – резюмує Гіббл.

Непостійний час

Так чи ні, але “очевидно, що незабаром ми матимемо годинники, які досягнуть точності 10^{-17} ”, – говорить Гіббл. І знову ця “точність”. “Оптичні годинники відходять від атомного означення секунди, що ґрунтується на властивостях цезію”, – зазначає Салліван. Щоб найновіші годинники мали високу точність як еталони часу, з якими ми узгоджуємо свої годинники, це означення слід змінити. За словами Саллівана, комітет з питань часу Міжнародної палати мір і ваг (BIPM) нещодавно затвердив його пропозицію дозволити “вторинні” означення, що встановлюють відповідність частоти атома цезію частоті інших атомів. Якщо Загальна асамблея BIPM підтримає цю ідею, означення секунди буде розширене і стане не таким догматичним.

Розробникам годинників буде непросто оминати теорію відносності. Точність годинника в межах 10^{-17} (одна мілісекунда за три мільйони років) буде відкинута ударом двох релятивістських ефектів. Перший із них – розтягнення часу. Годинники в русі сповільнюють свій хід. “Частотний зсув 10^{-17} відповідає розтягненню часу, що виникає при русі зі швидкістю пішохода”, – говорить Гіббл.

Інший руйнівник – сила тяжіння. Чим вона більша, тим повільніший плин часу. Годинники на вершині Евересту поспішають, порівняно з годинниками на рівні моря, на 30 мікросекунд за рік. “Нам доводиться враховувати ці ефекти, коли порівнюємо час годинників на різних поверххах нашого будинку”, – говорить Салліван. Піднявши годинник на 10 см угору, ви зміните його частоту на 10^{-17} . Втім, вплив висоти відносно легко врахувати – на відміну від варіацій сили тяжіння, зумовлених геологією місцевості, припливами або навіть рухами магми глибоко в товщі Землі.

“Враховуючи нашу технічну здатність розділяти спектральні лінії за допомогою мікрохвильових годинників та екстраполювати їх на оптичні, ми можемо досягнути похибки в межах 10^{-22} , – сказав наприкінці Гіббл. – Але я, звісно, не беруся стверджувати, що ми зробимо це найближчим часом”. Та й потреби немає, адже ніхто не знає, як із такою точністю синхронізувати два годинники. Яка з нього користь, якщо цей годинник не можна рухати і звіряти з іншим?

АД

Чи можна уповільнити старіння людини?

Теоретично – цілком можливо. Але досягти цього за допомогою якогось одного еліксиру поки що не вдається. Більше того, вже сьогодні зрозуміло, що на заваді майбутнім заходам проти людського старіння стануть численні деструктивні біохімічні процеси

Майкл Роуз

Старіння – неминуче, але стратегічне завдання сучасної науки полягає у з'ясуванні передумов уповільнення цього процесу.



Усі культури світу прагнули уповільнити процеси старіння, тобто збільшити свою життєву силу (життєспроможність), а отже — і тривалість самого життя. У наш час макробіотичні дієти, відновні індійські оздоровчі заходи, неофіційна з медичного погляду гормональна терапія та інші витончені процедури продовжують роздмухувати полум'я надії. Усі ці спроби відновити або зберегти енергію молодості мають одну спільну ознаку в досягненні своєї мети. На сьогодні люди віком понад 65 років мають не більше шансів дожити до бадьорого старечого віку, ніж їхні однолітки, що жили 2000 років тому. Проте завдяки досягненням сучасної медицини з'явилися ефективні методи лікування захворювань, що притаманні людям похилого віку (зокрема таких, як рак і хвороби серця). Крім того, поліпшення впродовж останніх 120 років санітарних умов та успішне лікування інфекційних захворювань збільшили ймовірність очікуваного продовження життя населення розвинених країн, а відтак і зменшення частоти випадків передчасної смерті. Проте досі немає способів стримування або хоча б уповільнення перебігу природних процесів старіння дорослих людей, тобто зниження з віком інтенсивності фізіологічних процесів та нормального функціонування організму. Як наслідок, успішне лікування в похилому віці одного захворювання рідко обходиться без одночасної появи іншої оздоровчої проблеми, пов'язаної з віком.

Все це, однак, не означає, що відтермінування старіння не стане можливим у майбутньому. Дослідження, розпочаті у 1980 році, свідчать про реальність цієї мети. Основою для таких припущень стали результати експериментів на тваринах, які, втім, були отримані за допомогою методів, непридатних для використання на людях. Ситуація в галузі досліджень процесів старіння, що тривали в 2003 році, мало чим відрізнялася від ситуації в науці, яка склалася на 1923 рік. На той час фізики вже знайшли в атомах неймовірно джерело енергії, про існування якого не було ані найменшого уявлення. Нез'ясованим залишалося ключове питання: чи можна буде її використати? Так само і в дослідженнях процесів старіння останнім часом досягнуто значних успіхів, проте чи достатньо цих результатів для того, щоб реально відсунути межу початку нашої квалості?

Недостатньо. Для досягнення цієї мети дослідники повинні значно краще вивчити фізіологічні процеси, що лежать в основі старіння, та з'ясувати їхній вплив на тривалість життя. Втім, я з оптимізмом дивлюся в майбутнє і вважаю, що така можливість цілком реальна, оскільки вже відомо, чому взагалі починається старіння. З'ясування цього питання дозволило вченим зайнятися опрацюванням раціональної стратегії виявлення хімічних процесів, якими можна вміло керувати з метою продовження періоду життєвої активності.

Приспаний природний добір

Причина старіння — не в якомусь універсальному дефекті всіх типів клітин. Якби його спричиняла якась одна неминуча вада, що веде до загибелі кожної з них, то жодна тварина не уникнула б старіння. Проте деякі з них досягають цього. Наприклад, морські анемони, які розмножуються вегетативним способом і яких десятиріччями утримують в акваріумах, не виявляють ознак погіршення здоров'я. В основі процесу старіння не лежить певна генетично запрограмована природою потреба вгамування надмірного натурального приросту. На відміну від морських анемон, які розмножуються вегетативним способом, у людей та інших хребетних істот старіння є побічним продуктом природного добору. Такий специфічний процес старіння характерний для тих видів, які розмножуються статевим шляхом, оскільки сила натурального добору знижується після досягнення зрілості.

Ця концепція логічно впливає із загальної теорії еволюції. Спадкові прикмети зберігаються й починають домінувати у популяції (за еволюційною термінологією, вони підлягають позитивній селекції), якщо вони допомагають їх носіям досягти репродуктивного віку й залишити потомство. Найкорисніші прикмети реалізуються згодом у можливості народжувати більше нащадків, наслідком чого є увічнення (зберігання назавжди) генів, які контролюють ці прикмети. Натомість тих прикмет, які впливають на скорочення життя в молодому віці, стає дедалі менше (негативна селекція), оскільки їх носії часто помирають ще до початку репродуктивного періоду.

На відміну від шкідливих генів, які проявляють себе на ранніх етапах життя, гени, що послаблюють здоров'я у старості, легко накопичуються в популяції. Це відбувається тому, що носії цих генів передаватимуть їх наступному поколінню ще до того, як їхні шкідливі ефекти перешкоджатимуть процесові розмноження. (Чим пізніше ці гени проявляють свій шкідливий вплив, тим численнішими стають вони в популяції, оскільки їх носії можуть довше розмножуватися). Відтак, процеси старіння розповсюджуються в межах популяції, оскільки природний добір, виконуючи функції сторожового пса, який ретельно оберігає прикмети, відповідальні за витривалість у молодому віці, сам по собі з часом дедалі слабшає.

Такий підхід ілюструють два руйнівні генетичні захворювання. Одне з них — прогерія, яку викликає випадкова мутація в межах одного гена нового ембріона, наслідком чого є кошмарне зношування організму вже в дитячому віці. Багато систем організму дегенерує так швидко, що за декілька років діти стають схожими на своїх дідусів чи бабусь. Зазвичай вони помирають від патології



серця або від інсульту ще до свого 15-річчя. Хвороба Гантінгтона, причина якої також у дефекті одного гена, проявляється в середньому віці. У цьому випадку дегенерує нервова система, що врешті-решт призводить до смерті.

Якщо прогерія — доволі рідкісне захворювання, то хвороба Гантінгтона належить до відносно частих генетичних хвороб. Чому? Люди, які страждають від прогерії, помирають ще до досягнення репродуктивного віку. У такий спосіб інтенсивна натуральна селекція легко вилучає з генного пулу характерну для прогерії мутацію — щоразу, тільки-но вона з'являється. А щодо хвороби Гантінгтона, то властива їй мутація істотно не впливає на розмноження, оскільки, як правило, проявляється вже після того, як у людини народилися її діти. Хвороба активізується, коли сила натурального добору вже ослаблена.

У 1940-1950-х роках Д. Б. С. Голдейн та нобелівський лауреат Пітер Медовер (обидва із Лондонського університетського коледжу) вперше оприлюднили це еволюційне пояснення старіння. Згодом, у 1960-1970-х роках, В. Гамільтон з Імперського коледжу та Браян Чарльзворт з Університету графства Сассекс надали цій концепції математичної точності.

Відкриття біологів-еволюціоністів розкривають причини нашого старіння. Результати аналізу встановлених ними

Відкриття біологів-еволюціоністів розкривають причини нашого старіння. Результати аналізу встановлених ними фактів вказують на те, що в популяціях, які розмножуються статевим способом, вплив природного добору на тривалість життя зменшується майже одразу після досягнення наймолодшого репродуктивного віку. Процес старіння активується, оскільки шкідлива дія яких проявилася у старшому віці, не зазнали з боку природного добору жодного впливу (або ж такі впливи були незначними, і тому ці гени стали домінуючими в генному пулі).

фактів вказують на те, що в популяціях, які розмножуються статевим способом, вплив природного добору на тривалість життя зменшується майже одразу після досягнення наймолодшого репродуктивного віку. Процес старіння активується, оскільки гени, шкідлива дія яких проявилася у старшому віці, не зазнали з боку природного добору жодного впливу (або ж такі впливи були незначними, і тому ці гени стали домінуючими в генному пулі).

Найважливішим досягненням Гамільтона і Чарльзворта було встановлення того факту, що в організмів, які не розмножуються шляхом поділу на дві частини, сила впливу природного добору зменшується при досягненні зрілого віку і зовсім зникає у старшому віці. Оскільки натуральний добір є джерелом усіх видів адаптацій (а отже і здоров'я), то опірність старших організмів спадає в міру поступового згасання природного добору. Врешті-решт, тривала його відсутність у зрілому віці може настільки знизити вітальну здатність організму, що навіть найсприятливіші умови життя і медичного догляду не зможуть зберегти життя старій людині.

Починаючи від 1970-х років, оригінальні математичні викладки не раз були підтверджені експериментально. Автори цих досліджень свідомо продовжували у лабораторних тварин період інтенсивного натурального добору методом відтермінування початку репродуктивного віку. Для цього вони вилучали з експерименту всі запліднені яєчка, відкладені молодими тваринами, використовуючи в досліді лише яєчка, відкладені у пізньому віці. У результаті тільки ті піддослідні об'єкти, які зберегли енергію, достатню для репродукції в старшому віці, змогли передавати свої гени наступним поколінням.

Якщо зниження інтенсивності природного добору після досягнення репродуктивного віку справді пояснює еволюцію старіння, то поступове сповільнення цього зниження у певній кількості генерацій досліджуваної популяції повинно відтермінувати старіння в одному конкретному родоводі. Це передбачення підтверджене дослідями, що проводилися на плодових мушках роду *Drosophilae*, у яких статеву зрілість відтермінували впродовж 10 і більше поколінь. Внаслідок цих експериментів учені отримали породу дрозофіл, тривалість життя яких у 2-3 рази більша, ніж звичайно. Крім того, ці мушки мають прекрасне здоров'я, демонструючи надзвичайну жвавість. Вони більше не можуть підтримувати нормальні фізіологічні функції впродовж тривалого часу, виявляючи більші потенціальні можливості в усіх вікових групах періоду зрілості. Замолоду вони виявляли більшу опірність до таких зазвичай летальних стресорних впливів, як гостра дегідратація та голод. Крім того, порівняно зі сво-



Що ж чекає нас після першого значного відтермінування старіння людини? Наступне відтермінування. Сповільнення процесу старіння людини не здійснюється за принципом "все або нічого" — на кшталт висадки людини на Місяць.



MARK WEXLER Woodfin Camp and Associates

PETER GINTER Bilderberg Photo Archive



Два генетично детерміновані захворювання пояснюють, як ослаблений природний добір створює сприятливі умови для широкого розповсюдження в популяції шкідливих генів, що проявляються у старшому віці. Людина на фото ліворуч хворіє на прогерію. Наслідком цієї хвороби є швидке старіння організму в дитинстві. Незважаючи на свій старечий вигляд, ця людина залишається дитиною. У чоловіка, що на фото праворуч, – хвороба Гантінгтона, зумовлена дегенеративними змінами, які клінічно проявляються, як

правило, у людей середнього віку. Прогерія трапляється рідко, оскільки в дитинстві природний добір працює дуже ефективно й елімінує ген, який може стати її причиною. Люди з прогерією не плодяться, що унеможливує передачу гена наступним поколінням. Хвороба Гантінгтона трапляється частіше, оскільки природний добір у таких випадках не спрацьовує. Ще до появи перших її симптомів хворі зазвичай встигають передати шкідливий ген половині своїх нащадків.

їми ровесниками з тих самих вікових груп, вони можуть пересуватися й літати протягом довшого часу.

Якби була можливість створення в людському середовищі подібних експериментальних умов, то проблему старіння людини можна було б вирішити шляхом примусового стримування розмноження упродовж багатьох поколінь. Але така практика – варварська, а також дуже повільна з погляду отримання бажаного результату. Тому той, хто женеться за вічною молодістю, мусить пошукати інші методи, суттєво допомагаючи імітувати такі фізіологічні зміни, які виникають у потомства, що народжувалося після затримки репродукції у цілих поколінь. Ті ж, хто спокуситься ідеєю випробувати на собі можливості відтермінованого розмноження, мусять запам'ятати: така практика не дасть жодного безпосереднього результату ані вам, ані вашим дітям. Цілком ймовірно, що потрібно близько 10 поколінь, аби просто продовжити своє життя; і цілі сторіччя знадобляться для значного збільшення тривалості життя.

Біохімічне підґрунтя

Теорія еволюції, а також результати деяких попередніх досліджень вказують на те, що сотні генетично визначених шляхів – каскадних молекулярних реакцій – впливають на тривалість життя і могли б, отож, бути використані з метою сповільнення старіння. Однак поки що відкрито лише незначну кількість генів, які беруть участь у цих процесах (переважно – у нематод *Caenorhabditis elegans* та плодової мушки *Drosophila melanogaster*). Крім того, слід ретельно з'ясувати, чи застосовні до людей результати експериментів, проведених на цих живих організмах. Втім, частина таких досліджень здійснена вже й на людях. Наприклад, у результаті генетичних аналізів, виконаних у Франції на довгожителів (100 і більше років), вдалося ототожнити два різні гени, які можуть брати участь у процесах, що ведуть до відтермінування старіння людей. Один із них кодує аполіпропротеїн Е, транспортний білок холестеролу, інший – ангіотензин-конвертуючий фермент, який регулює кров'яний

тиск. В обох випадках виявлено частішу присутність особливих алелів (різновидів цих генів) у столітніх довгожителів порівняно зі звичайними дорослими особами.

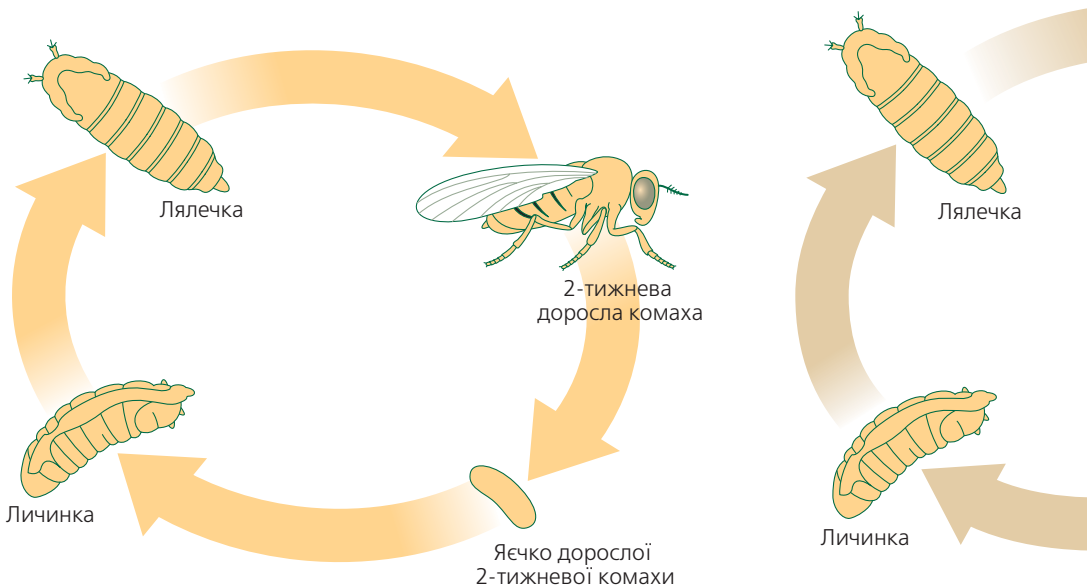
Однак здобути французькими вченими результати не сприяли розробці якихось методів протидії старінню. Адже ніхто точно не знає, у який спосіб звичні для довгожителів алелі могли б притлумлювати процеси старіння. І навіть якби ці алелі (або ж відкриті раніше у черв'яків та плодових мушок) змогли поліпшити людське здоров'я, то це відкриття стало б лише одним не-

Про автора

Майкл Р Роуз – професор еволюційної біології в Каліфорнійському університеті в Ірвіні. Він зосереджує свою увагу на експериментальних дослідженнях (переважно – на плодових мушках) з метою вивчення еволюційних теорій старіння, витривалості та якості життя. Роуз із гумором згадує події 10-річної давності, коли над ним відверто сміялися за спроби пояснювати процеси старіння з позицій еволюції.

Експерименти, виконані на дрозофілах, підтверджують погляд, за яким причина старіння полягає у зменшенні сили природного добору в період зрілості. Вчені дозволяли плодовим мушкам контрольної групи розмножуватися одразу після досягнення ними статевої зрілості, скорочуючи в такий спосіб тривалість інтенсивного природного добору. Водночас вони не допускали розмноження дрозофіл в іншій групі, продовжуючи тим самим період інтенсивного природного добору. Через декілька поколінь така процедура сповільнювала старіння дрозофіл другої групи та збільшувала тривалість їхнього життя (див. графіки).

СТАНДАРТНЕ РОЗВЕДЕННЯ ЗВИЧАЙНИХ ПЛОДОВИХ МУШОК



великим кроком у справі відтермінування старіння. Стимування мультифакторального процесу старіння вимагає, здається, змін у декількох, а може, й у багатьох біохімічних шляхах. Прийнятний метод виявлення алелів, здатних впливати на старіння людей, може полягати у порівнянні генетичного матеріалу нормальних тварин із генетичним матеріалом тварин, у яких виявлено ознаки сповільненого старіння. На щастя, той самий метод, що його було вико-

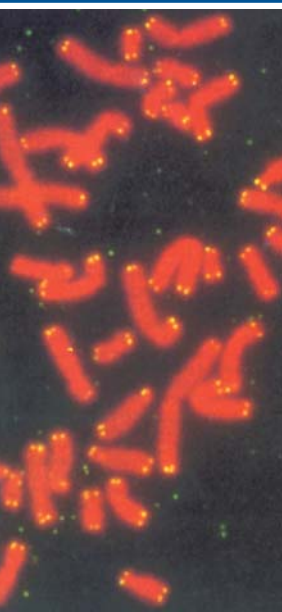
ристано для тестування теорії еволюції, можна застосувати і для ототожнення великої групи генів, які впливають на тривалість життя. Було доведено, що звичайні плодові мушки, яким продовжили життя шляхом відтермінування початку репродуктивного віку, мали інші комплекти алелів порівняно зі звичайними дрозофілами. Ці алелі не пройшли попередньої селекції й спеціально не були введені довговічним мушкам для продовження експерименту. Звідси випли-

Простих рішень не буде

Тривалість життя *Homo sapiens* доволі велика – принаймні порівняно з іншими представниками тваринного світу. Але багато з нас хотіли б жити ще довше, зберігаючи при цьому добре здоров'я. Таке бажання цілком зрозуміле, проте іноді воно засліплює наш розум. Справа в тому, що різноманітні обіцянки швидкого збільшення тривалості життя майже ніколи не мають нічого спільного з реаліями сьогодення та можливостями сучасної науки.

Серед потенційних терапевтичних методів, описаних у публікаціях останніх років, були: фізична зарядка, обмежувальні дієти і використання таких речовин, як гормони росту, фермент теломераза та антиоксиданти. Фізичні вправи покращують функціонування організму залежно від регулярності їх виконання, проте ніхто не довів, що вони збільшують тривалість життя. Крім того, їхній благотворний фізіологічний ефект швидко припиняється після того, як людина повертається до спокійного способу життя. Елімінаційні дієти ефективні для гризунів, але їхня цінність для людини систематично не вивчалася, і для більшості з нас вони не мають практичного значення. Самовільне ж, необґрунтоване розхитування рівня будь-якого з гормонів у нашому організмі потенційно небезпечно. У багатьох нових повідомленнях увагу зосереджено на здатності теломерази уповільнювати старіння клітин людини в пробірці (in vitro). Цей фермент діє на теломери в кінцевих сег-

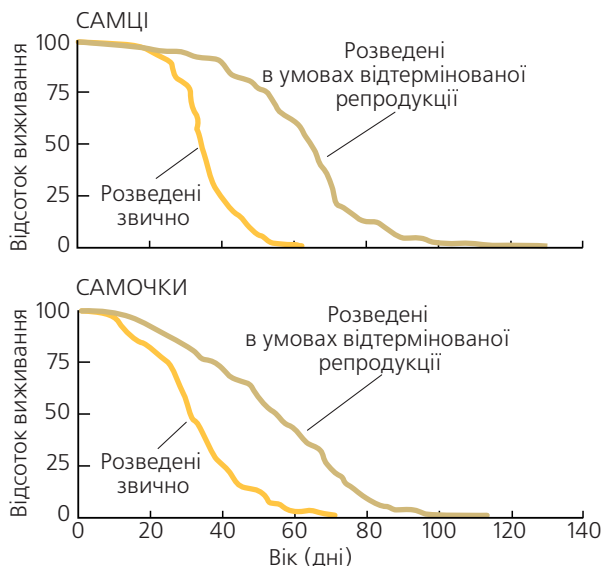
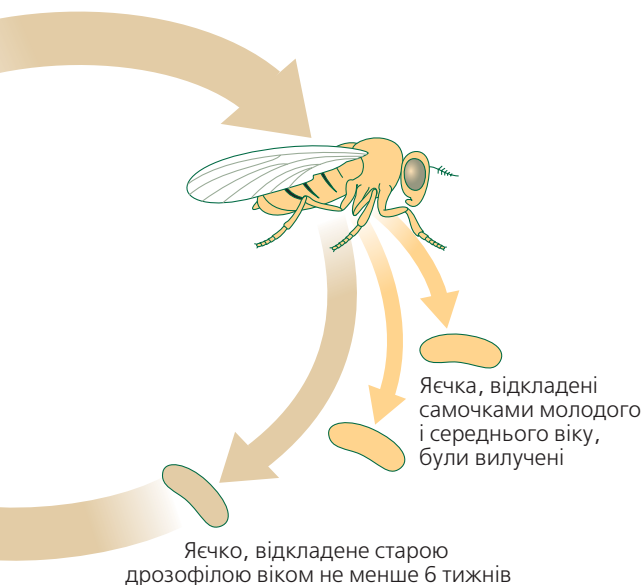
ментах хромосом. Теломери незначно вкорочуються щоразу під час поділу клітини. Коли їхні розміри зменшуються до певного критичного рівня, поділ клітини припиняється. Деякі автори вважають, що медикаментозне лікування може протидіяти вкороченню теломерів, а отже – продовжить їхню здатність забезпечувати клітинний поділ. Вони припускають, що таке збереження теломерів може уповільнити старіння всього організму. Проте жодного експерименту на підтвердження цієї теорії проведено не було. Крім того, все, що сприятиме безсмертю клітин, збільшуватиме ризик виникнення злоякісних пухлин. Результати досліджень на плодових мушках та інших організмах переконують, що в процесі старіння істотну роль відіграють вільні радикали – деструктивні оксиданти, які утворюються в самому старіючому організмі. І справді, у плодових мушок варіант гена, під впливом якого виникає надзвичайно активна форма супероксиддисмутази – чистильника руйнівних вільних радикалів – пов'язаний зі здоровим довголіттям. Якщо реакції окислення відіграють таку важливу роль у процесі старіння людини, то обмеживши утворення вільних радикалів або вилучивши (елімінувавши) їх можна було б, очевидно, сповільнювати старіння. Незважаючи на суперечливість поглядів стосовно цих питань, вчені все ще не знають, як досягти потрібного ефекту без ризику для життя і здоров'я людини. Тому в подальших дослідженнях слід з'ясувати, чи вказані заходи будуть справді ефективними.



Теломери на протилежних полюсах хромосом візуалізовані за допомогою методу флюоресценції.

ROBERT K. MOYZIS

ВІДСТРОЧЕНЕ РОЗМНОЖУВАННЯ



CHRISTOPH BLUMRICH (illustration); LAURIE GRACE (graphs)

ває, що у відповідь на відтерміноване розмноження природна селекція формувала організми із властивим для них уповільненим старінням.

Ототожнення специфічних алелів тварин-довгожителів допомогло дослідникам, що вивчають процеси старіння, розробити способи вдосконалення та збільшення ефективності корисних, доброякісних алелів, які протидіють ефектам шкідливих алелів. Звісно, запропоновані терапевтичні заходи перед апробацією на людях повинні пройти ретельне тестування на лабораторних тваринах.

Дорогу визначить технологія

Незалежно від того, чи проводитимуться порівняльні дослідження на плодкових мушках, гризунах або ж на якихось інших тваринах, подальша праця у цій галузі біології буде нелегкою. Вченим належить не просто ідентифікувати сотні чи навіть тисячі алелів, які виявляються найчастіше у довговічних суб'єктів, але й розшифрувати біологічні функції та унікальні характерні особливості відповідних білків. Технологію накопичення даних, потрібних для реалізації згаданих завдань, можна означити терміном “функціональна геноміка”. Це той напрям у генетиці, який швидко прогресує. Та навіть якщо цей прогрес буде дуже швидким, значне відтермінування старіння людей стане можливим лише близько 2050 року. Це твердження виглядає дивним, зважаючи на незлічені публікації про неймовірну ефективність багатьох методик, спрямованих проти старіння. Проте (і я вже наголошував на цьому) досі жоден із запропонованих методів не виявився справді ефективним, тож малоймовірно, щоб вони мали вагомий вплив, якщо будуть використані у монотерапії [див. вставку на протилежній сторінці].

Що ж чекає нас після першого значного відтермінування процесу старіння людини? Наступне відтермінування. Сповільнення процесу старіння людини не здійснюється за

принципом “все або нічого” — на кшталт висадки людини на Місяць. Тривалість нашого життя та функції організму на пізніх етапах його життєдіяльності поступово поліпшуватимуться — майже так само, як упродовж минулого сторіччя промислового розвитку поступово удосконалилося виробництво автомобілів. Я не наважуся визначити межу у продовженні людського життя — її може не бути. Але тільки за умови, що вчені розроблять методи забезпечення молодих людей генами, здатними запобігати старінню, або ж придумають суміші (коктейлі) ліків, які матимуть той самий ефект, що й генна інженерія. Проте досі ніхто не знає навіть тих головних ознак, яким мають відповідати ефективні втручання.

Відтермінування процесу старіння людини, крім усього, пов'язане з численними етичними й соціальними проблемами. Як бути із соціальним страхуванням в умовах майбутньої “відміни старості”? Чи можна буде виходити на пенсію в 65 років? Чи збільшуватиметься загроза перенаселення Землі? Чи немає, зрештою, чогось аморального у самому прагненні старших людей жадібно триматися за життя? Ці складні питання тривожать багатьох тверезомислячих людей.

Уповільнення процесу старіння людей сьогодні — проблема все ще теоретична. Але вже у 2050 році довше життя може стати реальністю, яка сколихне Конгрес і покращить настрої людям середнього віку. PP

Додаткова література

- Longevity, Senescence, and the Genome. Caleb E. Finch. University of Chicago Press, 1990.
- Evolutionary Biology of Aging. Michael R. Rose. Oxford University Press, 1991.
- Prospects for Postponing Human Aging. Michael R. Rose and Theodore J. Nusbbaum in FASEB Journal, Vol. 8, No. 12, pages 925–928; September 1994.
- Evolution of Human Lifespan: Past, Future, and Present. Michael R. Rose and Laurence D. Mueller in American Journal of Human Biology, Vol. 10, No. 4, pages 409–420; 1998.



Якщо компанії приймуть технологію на основі вільнопросторової оптики, сусідні з ними райони зможуть отримати прийнятний за ціною доступ до високошвидкісних мультимедіа-послуг.

Остання миля – за допомогою лазера

*Інфрачервоні лазери можуть
забезпечити доступ до сучасних
широкосмугових мультимедіа-послуг
безпосередньо з домівок та офісів*

Ентоні Акампора

Уявіть собі систему міського водопостачання, яка не забезпечує водою офіси та квартири, тому що її водопроводи прокладені по вулицях, але не заведені в будинки. Аналогічна ситуація склалася сьогодні з американською високошвидкісною мережею передачі даних. Багатомільярдна оптоволоконна магістраль, створена для забезпечення високошвидкісними мультимедіа-послугами офісних та домашніх комп'ютерів по всій території країни, стала практично недоступною для дев'яти з десятих американських фірм, що мають у своєму штаті більш ніж 100 робітників, — відстань до неї не перевищує однієї милі. Але, незважаючи на підвищений попит, перспектива перегляду веб-сторінок без затримок, доступу до бібліотек даних, електронної комерції, відео-телеконференцій, потокового аудіо та відео, передачі медичних даних у реальному часі, численних бізнес-транзакцій та інших можливостей все ще залишається далеко за горизонтом, а точніше — під сусідніми вулицями та провулками.

Традиційні мідні дроти телефонної мережі та коаксіальні кабелі кабельного телебачення не забезпечують гігабітної пропускної здатності, яка необхідна для сучасних послуг та програм, а встановлення оптоволоконних мостів для приєднання мільйонів користувачів до магістралі надто дороге (одна миля коштує від 100 000 до 500 000 американських

доларів). У результаті ця загальнонаціональна магістраль використовується лише на 2-5 відсотків.

Хоча численні безволоконні технології передачі даних (зокрема мікрохвильовий радіозв'язок, цифрові абонентські лінії та кабельні модеми) намагаються розширити свою пропускну здатність, вільнопросторова оптика (free-space optics — FSO) має, на думку багатьох учених, найбільші шанси на успіх. (FSO — це, по суті, та ж волоконна оптика, тільки без власне волокна). Винайдена в 1970-х роках, FSO переживає новий розквіт впродовж декількох останніх років. Вона базується на приймачах-передавачах (трансиверах), що містять малопотужні інфрачервоні лазери, які можуть передавати дані у двох напрямках зі швидкістю близько одного гігабіта за секунду. Декілька виробників уже розпочали встановлення дрібномасштабних FSO-систем у всьому світі [див. вкладку на стор. 85].

Малопотужні інфрачервоні лазери, що працюють у неліцензованому діапазоні частот, можна зробити абсолютно безпечними для ока людини. Хоча, на жаль, обмеження потужності лазера обмежує й радіус його дії. Залежно від погодних умов, FSO-з'єднання можуть сягати від декількох міських кварталів до одного кілометра. Цього достатньо для забезпечення швидкісного зв'язку багатьох кінцевих користувачів з магістраллю передачі даних. Оскільки погана погода (зокре-

ма густий туман) різко зменшує радіус дії цих пристроїв прямої видимості, то кожний оптичний вузол мусить бути налаштований на взаємодію з декількома сусідніми вузлами, утворюючи мережу. Така сіткова топологія забезпечуватиме надійну передачу великих обсягів даних від центральних передавальних вузлів до цілих міст чи районів.

Комерційно доступне FSO-обладнання забезпечує набагато вищу швидкість передачі даних, ніж цифрові абонентські лінії та коаксіальні кабелі, — від 10 мегабіт до 1,25 гігабіт за секунду (цього більш ніж достатньо для більшості сучасних послуг і програм). Крім того, лазерні діоди, присутні сьо-

ся лише декілька (близько десяти) компаній. Якщо справи підуть добре, стверджує Strategies Group (Вашингтон), то ця галузь промисловості може зрости від 120 мільйонів доларів (у 2000 році) до 2 мільярдів доларів щорічно до 2006 року.

Міст через останню милю

Вільнопросторова оптика використовує апарат і методи, що первинно були розроблені для оптоволоконних кабельних систем — тої самої технології, яку вона покликана підтримувати. Цифрова інформація у формі електричних сигналів (нулів та

воляє передавати десятки окремих каналів даних однією лінією, оскільки кожен із них модулюється світлом з іншою довжиною хвилі.

Лазерний діод з довжиною хвилі 850 або 1550 нм генерує оптичні імпульси, які фокусуються за допомогою лінзи і випромінюються — як світло від ліхтаря. Незважаючи на фокусування, промінь розсіюється, і з відстанню його потужність зменшується. Коли частина цього світла потрапляє на лінзу приймача (який може бути розташований, скажімо, на даху сусіднього будинку), оптична енергія фокусується на фотодетекторі, який перетворює імпульси світла у слабкий електричний сигнал.

Системи, базовані на технології вільнопросторової оптики, складуть від 10 до 30 відсотків вартості прокладання звичайних оптоволоконних ліній зв'язку.

годні на ринку, здатні вмикатися й вимикатися зі швидкістю, яка зможе забезпечити ще вищу швидкість передачі даних — до 9,6 гігабіт за секунду. І хоч такі діоди ще не пристосовані для використання у FSO-системах, вони можуть випромінювати імпульси тривалістю всього лиш 100 пікосекунд (100 трильйонних частин секунди).

Системи, базовані на цій технології, складуть від 10 до 30 відсотків вартості прокладання звичайних оптоволоконних ліній зв'язку. Більше того. Якщо прокладання оптоволоконного кабелю займає від 6 до 12 місяців, то налагодити лінію FSO-зв'язку можна за декілька днів. Відтак не просто зрозуміти, чому розвитком цієї технології займають-

одиниць — двійкових комп'ютерних кодів) пересилається через лазерний передавач, що встановлений на підвіконні або на даху, який перетворює кожну логічну одиницю в короткий оптичний імпульс. Відповідно, відсутність такого імпульсу представляє логічний нуль. Тобто процес модулювання даних виглядає як просте вмикання/вимикання лазера. Ефективність передачі підвищується пакетуванням даних — розбиванням потоку даних на незалежні пакети, кожен з яких можна індивідуально адресувати й надіслати. Крім того, FSO-системи можуть підтримувати режим передачі з розподілом довжин хвиль (wavelength division multiplexing — WDM) — технічний прийом, що доз-

Чутливий електронний приймач підсилює і регенерує сигнал, завершуючи таким чином передавання даних [див. верхню ілюстрацію на наступній сторінці].

Хоча випромінюваний промінь достатньо вузький, він розсіюється в просторі, утворюючи на момент приходу на приймальну лінзу конус із досить великою основою. Ступінь розходження променя обернено залежить від діаметра лінзи передавача. У результаті кількість енергії, що потрапляє на приймальну лінзу, швидко зменшується зі збільшенням відстані (прийнята енергія обернено пропорційна до квадрата відстані). Для заданих швидкості передачі, потужності випромінюючого лазера, чутливості приймального фотодетектора та розмірів приймальної лінзи саме розходження променя обмежує максимальну відстань дії лінії зв'язку.

Щоб збільшити цю відстань, треба збільшити розміри передавальної лінзи. Це зменшує ступінь розходження променя і збільшує кількість енергії, яка потрапить у приймач. Однак зуження пучка променів вимагає використання засобів автоматичного підстроювання напряму передачі та прийому, оскільки коливання будинків, теплове розширення та інші фактори можуть на деякий час збивати точно зорієнтовані передавач і приймач. Ця ви-

Сфери застосування вільнопросторової оптики

Доступ для кінцевих споживачів:

- забезпечення високошвидкісних ліній зв'язку між кінцевими користувачами, провайдерами Інтернету та іншими місцевими і глобальними оптоволоконними мережами;
- передача даних від базових радіостанцій стільникового зв'язку до вузлів загальної комутованої телефонної мережі.

Корпоративні мережі:

- легке і швидке об'єднання сегментів локальної мережі, що розміщені в сусідніх корпусах компанії;
- недорогі резервні зв'язки для оптоволоконної магістралі, що замінять прокладання додаткових кабелів.

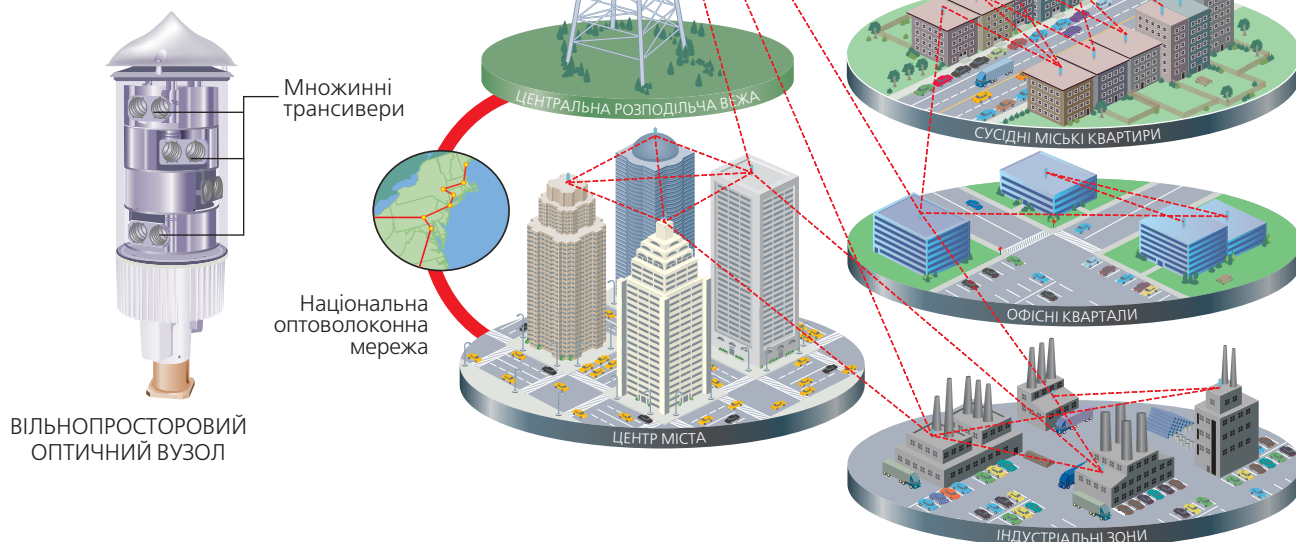
Пришвиджене надання послуг:

- тимчасовий високошвидкісний доступ для споживачів, що чекають на проведення оптоволоконної лінії зв'язку;
- налагодження аварійних комунікаційних мереж.

Подолання прогалин у зв'язку

ДОСТАВКА МУЛЬТИМЕДІА-ПОСЛУГ ЧЕРЕЗ "ОСТАННЮ МИЛЮ"

За допомогою оптичних вузлів з багатьма трансиверами (нижче), встановлених на будинках (праворуч), мережа двонапрямлених лазерних ліній зв'язку може розподіляти високошвидкісні дані від великих міст до околиць, містечок і навіть цілих районів.

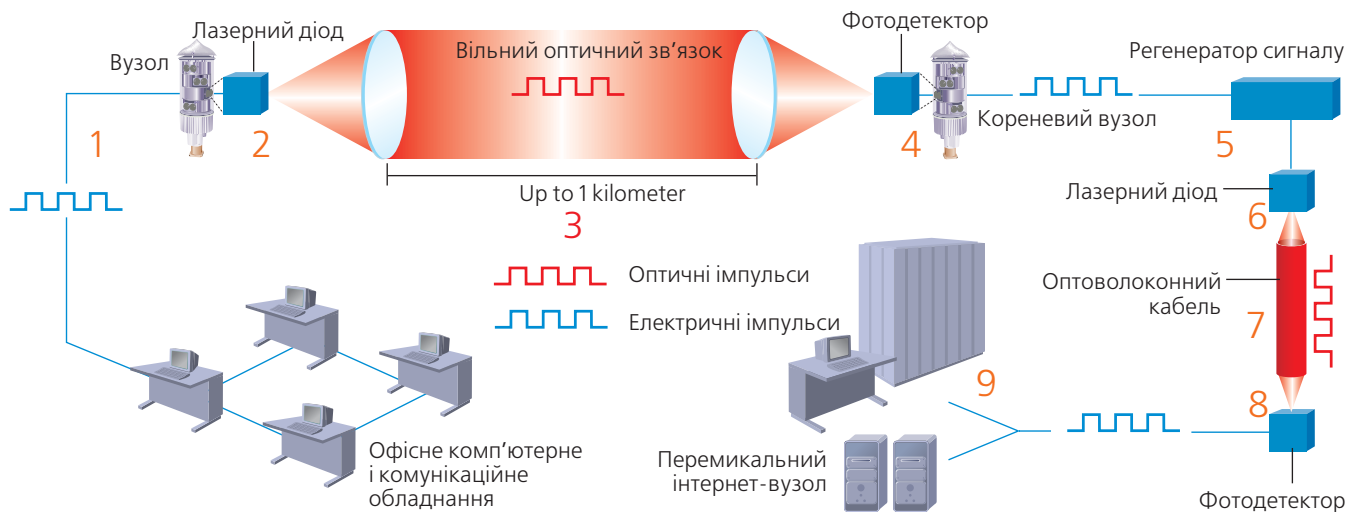


ЗВ'ЯЗОК З ОПТОВОЛОКОННОЮ МАГІСТРАЛЛЮ ЧЕРЕЗ ЛІНІЮ НА ОСНОВІ ВІЛЬНОПРОСТОРОВОЇ ОПТИКИ

Передача широкосмугових мультимедіа-даних до сусідніх будівель – принципова функція FSO-зв'язку. Ці лінії можуть забезпечити підключення кінцевих користувачів до високошвидкісної оптоволоконної магістралі, що охоплює всю територію Сполучених Штатів. Кодовані дані програм, що працюють на цифровому офісному обладнанні, надсилаються до FSO-вузла, який змонтований на даху чи у вікні [1].

Лазерний діод у трансивері перетворює дані в інфрачервоні оптичні імпульси, які фокусуються лінзою [2] й випромінюються до іншого FSO-вузла [3] (у цьому випадку – до кореневого вузла, який з'єднаний з оптоволоконною магістраллю), що розташований на сусідньому будинку. Приймальна лінза фокусує оптичні імпульси на фотодетекторі, який знову перетворює їх в електричні сигнали [4]. Регенератор сигналу [5] підсилює й очищає отримані імпульси.

Після цього електричні сигнали дротами пересилаються до іншого діода [6], який перетворює їх в оптичні імпульси й випромінює в оптоволоконний кабель, що є частиною загальнонаціональної магістралі [7]. Фотодетектор на іншому кінці кабелю знову перетворює сигнал в електричні імпульси для використання в мейнфреймах та серверах, які й постачають мультимедіа-послуги та програми.



мога ускладнює систему й збільшує її вартість. Активні системи трекінгу використовують рухомі механічні платформи і засоби зворотного зв'язку, які забезпечують постійне підстроювання, щоб підтримувати передавач і приймач точно націленими один на одного.

Загублені в тумані

Підвищена чутливість до перешкод сповільнила промислове застосування вільнопросторових оптичних систем. Сніг, дощ і – особливо – туман істотно зменшують максимальну дальність дії лінії зв'язку, оскільки поглинають велику частину випроміненої енергії. Цей фактор оптичного послаблення з віддаллю зростає експоненціально. Наприклад, у тумані середньої густоти оптичний сигнал втрачає 90 відсотків енергії на відстані 50 метрів від передавача. Це означає, що через 100 м сигнал втратить 99% потужності, а через 150 м – 99,9%. Таким чином, щоб бути практичною у застосуванні, оптична лінія зв'язку повинна проектувати сигнал з деякою надлишковою потужністю лазера, яку можна було б вмикати під час несприятливих погодних умов.

При заданій надлишковості є сенс говорити про ще один параметр системи – готовність лінії зв'язку, тобто співвідношення часу роботи без простою (внаслідок туману чи інших причин) до загального часу роботи системи. Вимоги до цього показника залежать від призначення лінії зв'язку. Якщо, скажімо, FSO-технологія використовується для приватного корпоративного зв'язку (з'єднано два офіси компанії, що розміщені в різних будинках), то система може бути в робочому стані 99,9% часу. Це значення відповідає близько 9 годинам простою на рік.

Про автора

Ентоні Акампора – професор електро- та комп'ютерної інженерії в Каліфорнійському університеті (Сан-Дієго), де він займається сучасними телекомунікаційними та мережевими технологіями. Провідний науковець та співзасновник компанії AirFiber, яка розробляє технології вільнопросторової оптики, Акампора проводить дослідження в Колумбійському університеті та в AT&T Bell Laboratories; має 30 патентів. Захистив докторську дисертацію з електроінженерії в Політехнічному інституті Брукліна.



Мережі невидимих лазерних зв'язків можуть незабаром спричинити мультимедіа-революцію у Сполучених Штатах.

З іншого боку, найважливіші лінії зв'язку можуть вимагати показника готовності 99,999% (у телекомунікаційній термінології – так званий тест п'яти дев'яток) – приблизно 5 хвилин на рік у неробочому стані. Оптоволоконні системи стабільно працюють на рівні п'яти дев'яток. Варто зазначити, що одне з основних потенційних застосувань FSO-систем – передача даних від базових радіостанцій стільникового зв'язку до вузлів загальної комутованої телефонної мережі – вимагає показника готовності в межах 99,99%.

Досягнення високих показників готовності – проблема для вільнопросторової оптики. Чим густіший туман, тим більше послаблення променя, а отже – менша готовність і дальність дії системи. У місцевостях, де густий туман буває дуже рідко, можна досягнути відмінної готовності системи при довжині лінії зв'язку, що наближається до максимальної – близько одного кілометра. Однак погіршення кліматичних

умов неминуче скорочує відстань і зменшує готовність системи.

Щоб вирішити цю проблему, FSO-систему можна спроектувати з обмеженими довжинами ліній зв'язку – як частину об'єднаної оптичної сітки, своєрідної “павутини”, якою мультимедіа-інформація надходитиме до будівель, які надто віддалені від оптоволоконної магістралі, щоб досягнути до неї прямим FSO-зв'язком. У такій сітковій топології розташований найближче до магістралі будинок обладнують “кореневим” вузлом з декількома оптичними трансиверами. Інші будинки мають свої FSO-вузли з багатьма трансиверами, які дозволяють обмінюватися інформацією з найближчими сусідами.

Сигнали, призначені для певного будинку, пересилаються з кореневого вузла через визначений набір ліній зв'язку в “павутині”, де проміжні вузли регенерують і передають сигнал у наступну ланку. Так само пересилаються сигнали від цього будинку до коренево-

го вузла (щоправда, вже іншим маршрутом). Таким чином довжина кожної оптичної лінії зв'язку залишається достатньо малою, щоб запобігти впливам туману чи інших несприятливих погодних явищ. Якщо одна з ліній вийде з ладу, то зв'язок можна швидко відновити, переславши дані по іншому маршруту. "Павутину" можна під'єднати до кількох корневих вузлів, забезпечивши ще вищу швидкість передачі даних до будинків.

Окрім декількох додаткових трансверів, кожен вузол-повторювач у сітковій системі повинен мати електронний комутатор, який об'єднуватиме (мультиплексуватиме) сигнали від локального будинку з сигналами, прийнятими від інших будинків, а також здійснюватиме маршрутизацію між корневим вузлом та окремими будівлями. Більше того, потреба у функціях мультиплексування, демультіплексування та комутації вимагає, щоб сигнали від

Розробники систем вільнопросторової оптики

AirFiber (Сан-Дієго) www.airfiber.com
Cablefree Solutions (Міддлсекс, Англія)
www.cablefreesolutions.com/index.htm
Canon USA (Лейк Сассекс, Нью-Йорк) www.usa.canon.com/html/industrial-canobeam/canobeam.html
fSONA Communications (Річмонд, Британська Колумбія) www.fsona.com
LightPointe (Сан-Дієго) www.lightpointe.com
Optical Access (Сан-Дієго) www.opticalaccess.com
Optical Crossing (Пасадена, Каліфорнія) www.opticalcrossing.com
PAV Data (Варрінгтон, Англія) www.pavdata.com
Plaintree Systems (Оттава, Онтаріо) www.plaintree.com
Terabeam (Кіркленд, Вашингтон) www.terabeam.com

пускну спроможність для перемаршрутизації та відновлення зв'язку після відмови однієї чи декількох оптичних ліній.

Конкурент вільнопросторової оптики у подоланні "останньої милі" — мікрохвильовий радіозв'язок, який не зазнає послаблень від туману. Але головний його недолік у тому, що для роботи в

частот в районі 60 ГГц для високошвидкісних програм. Більша ширина спектру на частоті 60 ГГц забезпечить більшу пропускну здатність та простішу (і дешевшу) схему модуляції — на кшталт простого вмикання/вимикання FSO-систем. Оскільки сильний дощ (який може спричинити відмову

Оптична "павутина" постачає мультимедіа-інформацію в будинки, які надто віддалені від оптоволоконної магістралі, щоб досягнути до неї прямим оптичним зв'язком.

комп'ютерів різних користувачів були зведені до одного формату. Це перетворення форматів виконують спеціальні пристрої, які будуть встановлені в кінцевих точках мережі (network termination units). Хоча дані можна передавати через багато вузлів різними маршрутами, користувачам здаватиметься, що їхні дані передаються в оптоволоконну магістраль окремою виділеною лінією. Таким чином, широкопasmові канали можуть обслуговувати досить великі площі, а нові вузли можна встановлювати швидко і легко, підключаючи дедалі нові й нові будинки.

Для кожного сигналу від кожної будівлі мережеве програмне забезпечення обирає маршрут через сітку, який закінчується в одному з корневих вузлів системи. Оскільки перебої у зв'язку з певним вузлом можуть бути виявлені мережевою програмою, то сигнали одразу ж скеровуватимуться іншим шляхом, обходячи проблему. Резервуючи деяку частину пропускну здатності кожного оптичного зв'язку, розробник такої мережі може забезпечити достатню про-

більшості мікрохвильових діапазонів потрібні ліцензії, а спектр, доступний у цих діапазонах, доволі вузький, що обмежує пропускну здатність каналу. Крім того, мікрохвильові радіосистеми дорожчі, ніж FSO-системи; вони можуть бути чутливими до радіоінтерференції, а також зазнають значного послаблення під час сильного дощу, особливо на високих частотах.

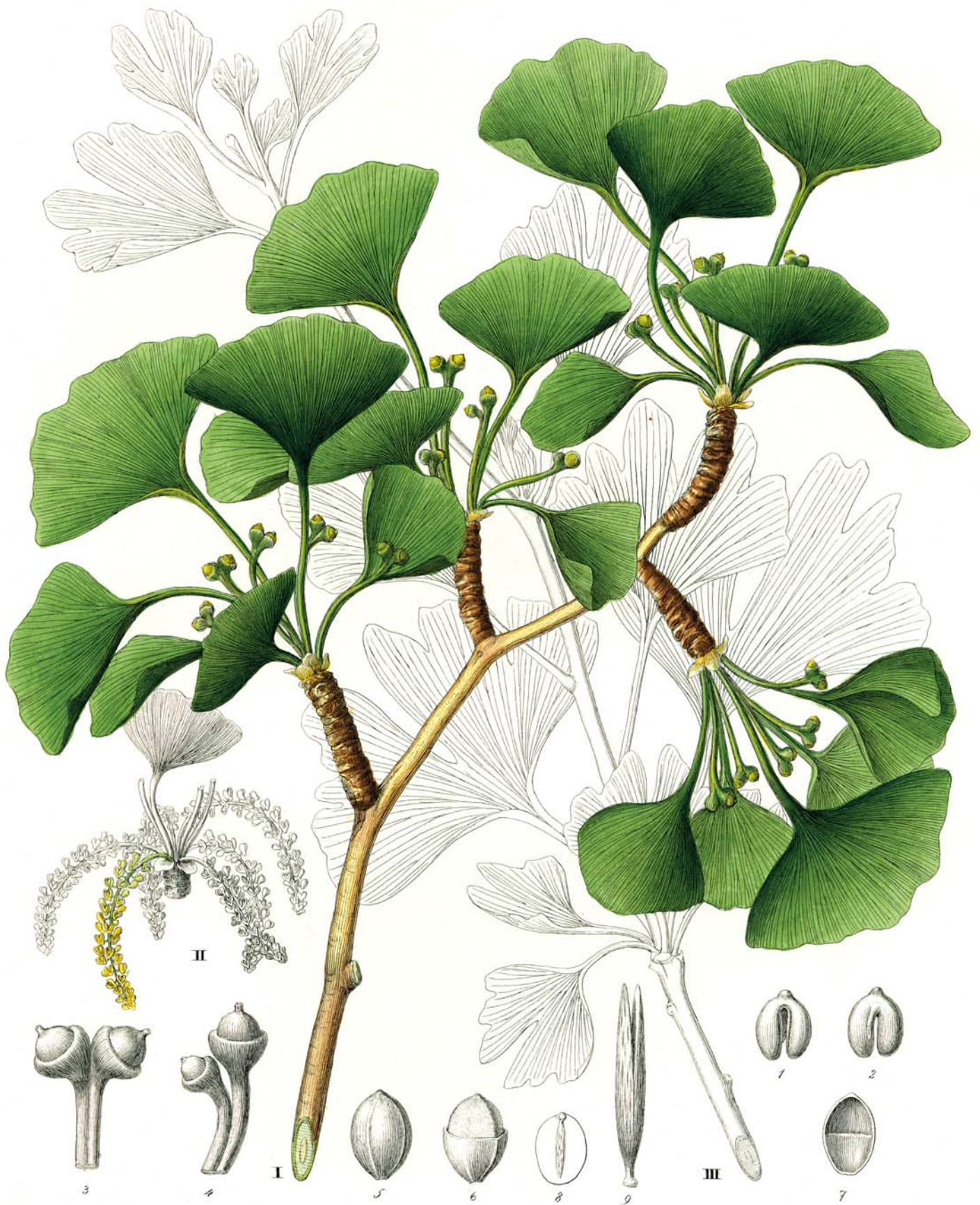
Втім, якби мікрохвильові радіосистеми працювали на частоті 60 гігерців, вони могли б доповнити FSO-системи. Федеральна Комісія США з питань комунікацій (U.S. Federal Communications Commission) виділила частину неліцензованого діапазону

лінії радіозв'язку) та туман (який блокує FSO-лінію) ніколи не бувають одночасно, з'являється добра нагода підвищити надійність зв'язку, застосовуючи комбінацію 60-гігерцового радіозв'язку та вільнопросторової оптики. Поєднання двох технологій дасть у результаті систему, яка працюватиме з високою надійністю на значно більших відстанях.

Хоча системи на основі вільнопросторової оптики ще потребують удосконалення, вважають, що саме вони є найперспективнішим способом подолати "останню милю" і започаткувати довгоочікувану мультимедіа-революцію. IT

Додаткова література

UniNet: A Hybrid Approach for Universal Broadband Access Using Small Radio Cells Interconnected by Free-Space Optical Links. A. Acampora, S. Krishnamurthy and S. H. Bloom in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 16, No. 6, pages 973–988; August 1998.
A Broadband Wireless Access Network Based on Mesh-Connected Free-Space Optical Links. Anthony Acampora and Srikanth V. Krishnamurthy in IEEE Personal Communications (now called IEEE Wireless Communications), Vol. 6, No. 5; October 1999.
Free-Space Laser Communication Technologies. Special issue of Proceedings of SPIE (published annually).



Це зображення віялоподібних листків дерева Гінґо ми запозичили з книги "Flora Japonica", виданої у XIX сторіччі за редакцією лікаря Філіппа Франца фон Себолда. Екстракт із листя [див. малюнок на наступній сторінці] – один із найпопулярніших лікарських засобів для покращення пам'яті.

У чому ж сила Гінкго білоба?



Ця біологічно активна добавка природного походження може покращити вашу пам'ять, проте аналогічного ефекту можна досягнути і за допомогою звичайних солодошів

Пол Голд, Леррі Кахіл, Гарі Венк

Дерево Гінкго (*Ginkgo biloba*) — унікальне завдяки багатьом своїм властивостям. Хоч батьківщиною Гінкго вважається Корея, Китай та Японія, його можна зустріти у парках та вздовж тротуарів багатьох міст світу. Це дерево заввишки близько 40 метрів може жити понад 1000 років. Сліди Гінкго були виявлені у покладах, яким більше 250 мільйонів років. Тому Чарльз Дарвін назвав його “живою скам'янілістю”. Сьогодні ця унікальна рослина відома передусім завдяки лікувальним властивостям екстракту, який отримують з її оригінальних віялоподібних листків.

У традиційній китайській медицині витяжки з Гінкго використовуються з лікувальною метою протягом багатьох сторіч. Сьогодні Гінкго білоба відоме як ефективний лікарський засіб, призначений для підвищення розумових здібностей та уваги, покращення пам'яті й настрою, а також для попередження основних симптомів старіння організму. Гінкго особливо популярне в країнах Європи. У Німеччині препарати із листя Гінкго білоба широко використовуються для лікування деменції. У США Національний Інститут Старіння проводить клінічні дослідження для перевірки ефективності Гінкго в боротьбі із симптомами хвороби Альцгеймера.

Але чи є серйозні наукові підтвердження того, що Гінкго білоба справді покращує пізнавальні (когнітивні) функції мозку? Всі відомості про використання переважної більшості біологічно активних добавок на основі екстракту Гінкго білоба базуються на досвіді народної медицини різних країн, однак експериментального підґрунтя у них немає. Ос-

кільки у Сполучених Штатах Америки положеннями FDA не передбачено регулювання виробництва, контролю якості та застосування препаратів рослинного походження, від виробників ніхто не вимагає підтвердження ефективності та безпечності їхньої продукції. Зрозуміло, що увага пацієнтів до біологічно активних добавок на кшталт Гінкго білоба завжди підвищена. Проте, якщо такі препарати і не погіршують самопочуття людини, вони можуть виявитися економічно не вигідними і відволікатимуть пацієнтів від прагматичніших методів лікування. Тож аби заповнити цю прогалину в наших знаннях, ми проаналізували результати (як позитивні, так і негативні) останніх експериментальних досліджень впливу Гінкго білоба на мозкові функції.

Багато досліджень — мало відповідей

Звичайна добова норма, що використовується у багатьох експериментальних дослідженнях, — 120 мг сухого екстракту Гінкго білоба, яку доцільно вживати у два або три прийоми. Основна група біологічно активних речовин, що містяться в екстракті, — флавоноїди. Це речовини природного походження зі специфічною хімічною структурою. Крім того, екстракт містить біфлавоноїди та різні види терпеноїдів — клас природних сполук, які зустрічаються у марихуані та деяких інших рослинах.

Донедавна результати досліджень впливу Гінкго білоба на пізнавальні функції мозку публікувалися переважно в неангломовних періодичних виданнях, що утруднювало доступ до них широкого загалу науковців.

Дія Гінкго білоба на мозок

Дослідники остаточно не впевнені, що Гінкго білоба покращує пізнавальні функції мозку. Але беззаперечним є той факт, що екстракти Гінкго впливають на центральну нервову систему. При цьому слід відзначити різні рівні дії екстракту на організм людини:

Покращення циркуляції крові

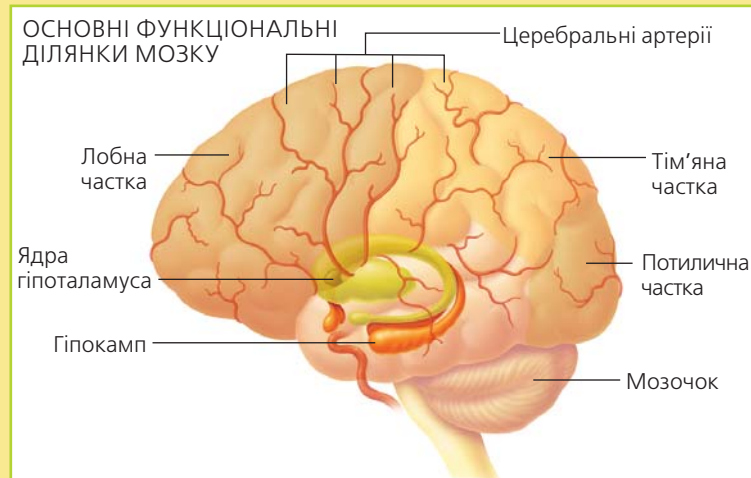
- розширення кровоносних судин, що покращує кровопостачання мозку і знижує артеріальний тиск;
- зниження рівня холестерину в крові (надмірний вміст холестерину спричинює розвиток хвороби Альцгеймера);
- інгібування агрегаційної здатності крові, що запобігає розвитку інсультів.

Антиоксидантний ефект

- зменшення кількості вільних радикалів – високореактивних молекул кисню, які можуть пошкоджувати нейрони і спричиняти вікові зміни в мозку;
- усунення наслідків мозкової ішемії.

Утилізація глюкози

- підвищення утилізації глюкози як основного джерела енергії в тих ділянках мозку, які відповідають за обробку сенсорної інформації та основні розумові функції;
- підвищення поглинання глюкози тими мозковими ділянками, які регулюють рухові та пізнавальні функції.



Вплив на нейротрансмітерну систему

- сприяє поглинанню холіну в крові (холін – один із компонентів ацетилхоліну, що забезпечує передачу сигналу між нейронами);
- сповільнює виснаження нейронових рецепторів, що зменшує напруження;
- підвищує вивільнення гамма-аміномасляної кислоти (іншого нейротрансмітера, що також зменшує напруження);
- збільшує продукування норадреналіну, який усуває ознаки депресії.

Значна частина цих досліджень стосувалася можливостей запобігання погіршенню розумового стану пацієнтів при початкових стадіях хвороби Альцгеймера. У більшості експериментів, які засвідчили покращення когнітивного стану пацієнтів, використовувався стандартизований екстракт Гінкго EGb 761.

Науковці, що вивчали дію екстракту Гінкго, вдавалися переважно до тестів на пам'ять та ступінь засвоєння одержаної інформації. Менше зосереджувались на інших мозкових функціях – увазі, мотивації, неспокої.

Крім того, більшість учених оприлюднювали результати своїх досліджень після тривалого застосування екстракту Гінкго (декілька місяців), що ускладнювало локалізацію конкретних симптомів, при яких препарати були найефективнішими, сприяючи узагальненню їх тлумаченню. Для одержання конкретніших результатів експериментаторам доводилося додатково проводити ретельні аналізи перебігу хвороби як до, так і після застосування препаратів.

Дослідження дії екстракту Гінкго білоба істотно відрізняються як за напрямками експериментів, так і за контролем умов проведення досліджень. Тому спробуємо зосередитися на найточніших та найдостовірніших результатах.

У 1998 році Баррі Окен з Університету Здоров'я (штат Арізона) узагальнив дані понад 50 досліджень, в яких йшлося

про покращення розумового стану пацієнтів, відібравши чотири з них, які найповніше охоплювали симптоми хвороби Альцгеймера. Дослідження включали вивчення ефективності екстракту Гінкго білоба у порівнянні з плацебо-ефектом. Крім того, використовувалося подвійне сліпе дослідження (ні об'єкт дослідження, ні експериментатор не знали, що саме призначено пацієнтові – екстракт чи плацебо). Результати кожного дослідження засвідчили, що ефективність екстракту Гінкго білоба порівняно з плацебо вища на 10-20%.

Окен повідомив, що за своїм ефектом екстракт Гінкго – функціональний аналог донепезилу, який вважається препаратом вибору для лікування хвороби Альцгеймера. Донепезил покращує мозкову діяльність, зменшуючи руйнування ацетилхоліну, який забезпечує передачу нейронами нервового імпульсу.

Водночас експерименти, проведені фармацевтичною фірмою Dr. Willmar Schwabe Pharmaceuticals (Карлсруе, Німеччина), під час яких хворим із помірною та середньою стадією деменції призначали стандартизований екстракт EGb 761, не підтвердили змін когнітивних реакцій у результаті застосування препаратів.

Отож виникає ще одне суперечливе запитання: чи справді препарати Гінкго виявляють фармакотерапевтичний ефект

при хворобі Альцгеймера, чи лише сповільнюють розвиток захворювання? Дві відповіді на це запитання одержали в ході експериментів у 1997 році науковці Нью-Йоркського інституту медичних досліджень під керівництвом П'єра Ле Барса. Результати цих досліджень частково повторювали ті, які раніше отримав Окен, відзначалися значною варіабельністю. Отже, стан хворих, які вживали плацебо протягом року, помітно погіршився. Водночас у пацієнтів, яким були призначені препарати Гінкго, стан та діяльність головного мозку залишалися стабільними. Однак у наступній серії досліджень дія лікарських засобів на основі екстракту Гінкго вже нічим не відрізнялася від плацебо-ефекту.

І все ж у цій низці експериментів хоча б у одному випадку результати свідчили про позитивний вплив препаратів Гінкго на розумову діяльність. Французькі науковці під керівництвом Ерве Аллена провели оригінальні дослідження, під час яких призначали велику дозу препаратів Гінкго (від 320 до 600 мг) літнім пацієнтам із помірними віковими порушеннями пам'яті. Як засвідчили результати тесту візуального сприйняття графічного матеріалу, пам'ять пацієнтів через годину після вживання препаратів Гінкго істотно покращилася.

Усі відомості про використання переважної більшості біологічно активних добавок на основі екстракту Гінкго білоба базуються на досвіді народної медицини різних країн, однак експериментального підґрунтя у них немає.



Натомість результати інших досліджень породили сумніви щодо ефективності препаратів Гінкго, призначених для лікування хворих із порушеннями пам'яті. Зокрема, співробітники лікарні Вітгінгтон у Лондоні на чолі з Гарчараном Реєм зазначають, що через 24 тижні після вживання препаратів Гінкго пацієнти сприймали візуальну інформацію точнісінько так само, як пацієнти, які вживали плацебо.

Чи покращує здоров'я?

На жаль, значно менше проводилося досліджень впливу препаратів Гінкго білоба на когнітивний стан молодих здорових пацієнтів. Під час одного з таких досліджень, проведених у середині 1980-х років британським ученим Ланом Гіндмарчем, здорові пацієнти віком від 25 до 40 років отримували стандартизований екстракт Гінкго EGb 761. Результати експериментів засвідчили, що лише найбільша доза препарату (600 мг) сприяла короткочасному покращенню пам'яті пацієнтів. Загалом дослідження підтвердили гіпотезу про те, що препарати Гінкго можуть покращувати когнітивні функції мозку у молодих пацієнтів. Порівняно з плацебо препарати Гінкго виявилися значно ефективнішими. Інші дослідження продемонстрували покращення пам'яті у пацієнтів середньої (від 38 до

66 років) вікової категорії. Ці люди вживали комбінований препарат, що містив екстракти Гінкго та женьшеню. Однак у цьому випадку досягнутий ефект, очевидно, залежав не лише від екстракту Гінкго.

Загальновідомо, що перед клінічними дослідженнями на людях лікарські препарати повинні проходити лабораторні тести на тваринах. Такі експерименти особливо актуальні, коли визначається безпека та ефективність досліджуваних засобів. Але, враховуючи те, що препарати Гінкго не підлягають приписам FDA, виробники не зобов'язані подавати такі результати. Відтак у періодичних виданнях з'являлося надто мало інформації про можливий вплив препаратів Гінкго на покращення пам'яті у тварин. Одне з таких досліджень проводилося в 1991 році на молодих мишах, які попередньо були натреновані та реагували на голод натисканням важеля лабораторного устаткування. Експериментальна група мишей, яким протягом чотирьох-восьми тижнів попередньо вводили екстракт Гінкго, реагувала на голод швидше, ніж контрольна група. Проте, як і в експериментах на людях, важко однозначно стверджувати, що саме Гінкго впливає на когнітивні процеси у мозку. Наприклад, повторне введення препаратів Гінкго зменшувало ймовірність виникнення стресових станів у

мишей, а відсутність стресу безпосередньо може впливати на пам'ять та пізнавальні процеси.

Чи справді Гінкго білоба може покращувати розумові процеси і як саме відбувається цей процес? Експериментальні дослідження дозволили виділити основні біологічні механізми, за допомогою яких Гінкго білоба впливає на когнітивні процеси у мозку [див. вставку на попередній сторінці]. Як свідчать результати досліджень, навіть у звичайних дозах (120-240 мг на добу) препарати Гінкго білоба можуть бути небезпечними для здоров'я людини. Серед виявлених потенційних ускладнень — субдуральна гематома (скупчення крові між черепом та мозком) та розлади шлунково-кишкового тракту. Як і більшість препаратів рослинного походження, екстракт Гінкго може зумовлювати нудоту та блювання. Крім того, деякі пацієнти скаржилися на підвищене

Про авторів

Пол Голд, Леррі Кахил та Гарі Венк — провідні науковці, що вивчають можливості покращення мозкових функцій. Пол Голд — професор кафедри психології та неврології Університету штату Іллінойс (Урбана-Шампань). Леррі Кахил — фахівець із нейробіології та поведінкових реакцій, науковий співробітник Центру нейробіології процесів навчання та пам'яті Університету в Каліфорнії (Ірвін). Гарі Венк — професор психології та неврології Університету штату Арізона.

Інші "мозкові стимулятори"

Марк МакДаніел, Стівен Майєр, Гілс Айнштайн

Пацієнти літнього віку вельми цікавляться безрецептурними "мозковими стимуляторами", які пропонує сучасний фармацевтичний ринок. Завдяки агресивній рекламі інформація про переваги цієї групи препаратів швидко поширюється серед споживачів. Впливаючи на перебіг біохімічних процесів в організмі людини, ці біологічно активні речовини часто-густо забезпечують непоганий ефект. Огляд опублікованих наукових досліджень засвідчив: деякі з них можуть істотно покращувати пам'ять у тварин, що підтверджено лабораторними дослідженнями. Мають вони позитивний вплив і на людей. Однак постає багато запитань щодо методик проведення експериментів, кількісних параметрів досліджень, узагальнення та інтерпретації одержаних результатів. Все це у поєднанні з методологічними недоліками досліджень ставить під сумнів достовірність здобутих результатів. Тому ми спробували узагальнити інформацію про шість груп безрецептурних препаратів, які можуть бути рекомендовані пацієнтам для усунення симптомів, спричинених віковим погіршенням пам'яті.

Фосфатидилсерини

Фосфатидилсерини – природні ліпіди. Експерименти на тваринах показали, що використання цих біологічно активних речовин істотно послаблює симптоми старіння та відновлює пам'ять у мишей та щурів. На жаль, використання цих речовин серед людей обмежене. Однак, за даними попередніх експериментів, у хворих літнього віку з помірними порушеннями пізнавальних функцій виявлено покращення сприйняття візуальної інформації. Інформація про вплив фосфатидилсеринів на інші види пам'яті не узагальнена.

Холіновмісні препарати

Призначення пацієнтам з хворобою Альцгеймера фосфатидилхоліну, що відомий у науковій практиці як лецитин, позитивних результатів не дало. Цитохолін практично не використовується. Проте в одному з протоколів експериментів є згадка про можливий вплив речовини на пам'ять пацієнтів похилого віку.

Пірацетам

Розроблений ще в 1967 році, препарат довго не визнавали у Сполучених Штатах Америки, хоча в країнах Європи та Мексиці він надходить у фармацевтичну мережу під різними торговими назвами (ноотропіл, піроксил). Досліди на тваринах показали, що препарат може покращувати передачу нервового імпульсу, стимулювати синаптичну діяльність, а також усувати вікові зміни у нервовій тканині. Проте немає достовірної інформації про те, що засіб позитивно впливає на когнітивні функції мозку при хворобі Альцгеймера чи покращує пам'ять у хворих із віковими змінами центральної нервової системи.

Вінпоцетин

Вінпоцетин – алкалоїд рослинного походження, одержаний з трави барвінка малого. Покращує мозковий кровообіг. У трьох клінічних дослідженнях на

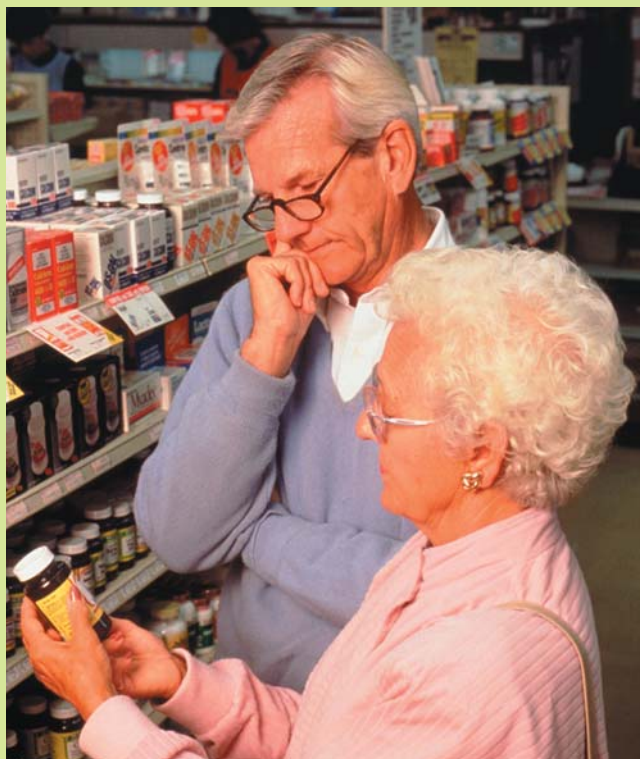
хворих літнього віку, в яких діагностовано порушення мозкового кровообігу або деменцію, вінпоцетин позитивно впливав на когнітивні функції мозку, покращував пам'ять та сприяв концентрації уваги.

Ацетил-L-карнітин

Ацетил-L-карнітин – це амінокислота, що бере участь в енергетичному обміні, який особливо важливий для діяльності головного мозку. Досліди на тваринах показали, що ацетил-L-карнітин повністю компенсує вікові зміни у нейронах. Однак застосування речовини пацієнтами з хворобою Альцгеймера спричинилося лише до незначних позитивних змін, які встановили під час контрольного тесту на пам'ять.

Антиоксиданти

Такі антиоксиданти, як вітаміни Е та С, відновлюють пошкоджені тканини і компенсують негативну дію вільних радикалів. Однак експериментально підтверджено, що вітамін Е самостійно не впливає на стан пам'яті пацієнтів з хворобою Альцгеймера та пацієнтів із початковою стадією хвороби Паркінсона. Комбінація вітамінів Е та С не сприяла покращенню розумової діяльності у студентів коледжу, які виконували пізнавальні завдання.



Споживачі занепокоєні: науковці не гарантують, що дієтичні добавки насправді покращують пам'ять.

слиновиділення, поганий апетит, біль голови, запаморочення, дзвін у вухах, подразнення шкіри. Великі дози екстракту можуть викликати ортостатичну гіпотензію (різке зниження артеріального тиску після переходу тіла з горизонтального положення у вертикальне). Однак згадані побічні ефекти спостерігаються дуже рідко. Крім того, ризик їх виникнення можна знизити оптимізацією індивідуального дозування препаратів.

Але повернімося до головного: чи покращує Гінкго білоба когнітивні функції мозку? Загалом, повідомлень про ефективність препаратів недостатньо для категоричного ствердження цього. Бракує також і самих експериментів, а результати проведених вельми суперечливі. Тести на людях довели можливість уповільнення прогресування когнітивних розладів при деменції. Ймовірно, тривалість дії екстракту після вживання одноразової дози препарату дуже корот-

Оскільки в експериментальних проектах із виявлення ефективності Гінкго порівняно з іншими лікарськими засобами використовувалися різні методики та методології, не варто проводити прямих аналогій. Наприклад, у результаті дії глюкози стан візуальної пам'яті у молодих та літніх пацієнтів покращувався на 30-40%. У пацієнтів з хворобою Альцгеймера результати тесту наближались до 100%. Кількісні показники ефективності глюкози в цих експериментах перевищують ефективність Гінкго на 10-20%. Проте у згаданих експериментах використовували короткотривале введення глюкози, натомість, виявляючи ефективність Гінкго, лікарські препарати призначали хворим тривалий час. Крім того, для більшої вірогідності результатів з порівняльною метою використали показники контрольної групи.

Пряме порівняння ефективності альтернативних лікарських препаратів — найефективніший метод для виявлення їхньої дії. Щодо Гінкго, то лише в одному експерименті чітко

Чи справді Гінкго білоба покращує пізнавальні функції мозку? Достеменних доказів немає.



ка. Однак обмежений доступ до інформації не дає змоги реально оцінити усі ефекти Гінкго білоба.

Основна мета

Інше принципове питання, що виникає, враховуючи загальну ефективність препарату: чи можна вважати Гінкго білоба найкращим терапевтичним засобом для покращення пам'яті? Сьогодні відомо багато інших препаратів, які впливають на пізнавальні функції мозку людей та тварин [див. вставку на попередній сторінці]. Такий лікарський препарат, як донепезіл може істотно підвищити рівень засвоєння інформації й покращити пам'ять у гризунів, а також помірно стимулювати пам'ять у людей. Однак деякі зовнішні чинники також можуть сприяти появі аналогічних ефектів. Наприклад, цікава захоплююча історія, почута пацієнтом, стимулює виділення адреналіну, що сприяє покращенню пам'яті без вживання будь-яких лікарських препаратів. Механізм дії останнього полягає у вивільненні глюкози із депо у печінці та перетворенні її на глюкозу, необхідну для роботи мозку.

Вживання звичайного цукру також може покращити пам'ять. Експериментально доведено: якщо глюкозу вводити систематично (людям — разом із продуктами харчування, тваринам — ін'єкційним шляхом), то це покращує когнітивні функції мозку у тварин та людей різних вікових категорій, зокрема і в пацієнтів з хворобою Альцгеймера. Подібно до інших лікарських засобів, які покращують пам'ять, ефекти глюкози можна описати кривою залежності "доза — ефект" у вигляді переверненої літери "U". При цьому слід зазначити, що лише помірні дози покращують пам'ять. Малі дози — неефективні, а великі можуть реально нашкодити.

простежувалася значна перевага екстракту порівняно з іншими аналогічними лікарськими препаратами. Тоді максимальний ефект від застосування препаратів Гінкго удвічі перевищив результати, досягнуті іншими засобами.

Ми проаналізували наукову літературу скептично, але відповідально, щоб уникнути передбачення можливих результатів. Виявлено незаперечні підтвердження ефективності Гінкго білоба в покращенні пізнавальних функцій головного мозку, хоча його вплив досить помірний і проявляється лише за певних умов. Проте брак інформації не дозволяє нам категорично стверджувати про ефективність чи неефективність Гінкго.

Втім, цієї інформації цілком достатньо для того, щоб продовжувати вивчення особливостей впливу Гінкго білоба на когнітивні функції мозку. Багаторічний досвід вивчення нових лікарських препаратів свідчить, що початковий позитивний результат часто нівелювався у подальших ґрунтовних експериментах. Тому остаточне з'ясування особливостей впливу препаратів Гінкго білоба на організм людини ще попереду.

Рекомендована література

Повна версія статті Марка МакДанієла, Стівена Майєра та Гілса Айнштайна "Біологічно активні речовини, необхідні для функціонування мозку: лікарські засоби для покращення пам'яті?" опублікована в журналі *Psychological Science in the Public Interest* за травень 2002 року [див. також на www.psychologicalscience.org/journals/pspi/3_1.html]. МакДаніель — завідувач кафедри психології Університету Нью-Мексико; Майєр — директор центру неврології Університету в Колорадо; Айнштайн — завідувач кафедри психології Фурманського університету.

Повнішу інформацію про Гінкго білоба та інші дієтичні добавки можна отримати, завітавши на dietary-supplements.info.nih.gov/ і www.cfsan.fda.gov/~dms/supplmnt.html

ЗВ'ЯЗКИ

Яке нахабство!



Від Бетховена і Діккенса – до хімії сечі та “сайдеризму”. “Не вся наука закінчується на Нобелі”, – зазначає Джеймс Берк

Водній зі своїх попередніх статей я обіцяв докладніше поговорити про агента Бетховена, а також розглянути той факт, що внучка цього агента вийшла заміж за Чарльза Діккенса. Виявляється, цей чоловік (шотландець на ім'я Джордж Томсон) був вельми надокучливим типом. На музичній ниві він відзначався (окрім того, що непогано грав на скрипці) надзвичайним умінням переконувати великих композиторів у тому, що народна музика, яку він залюбки колекціонував, не дуже добра і потребує вдосконалення “симфоніями”, або, що народні поеми, записані ним зі слів окремих шотландських селян, вимагають сучасних неоромантичних мелодій, які б легко запам'ятовувалися. Бетховен написав понад 100 таких творів, і деякі з них Томсон забракував як ширпотреб. Що ж, нахабства йому не бракувало.

Але повернімося до внучки Томсона та дружини Чарльза Діккенса. У 1859 році, вже хильнувши міжнародної слави за такі блокбастери, як “Посмертні записки Піквікського клубу” та “Мартін Чезлвіт”, Діккенс написав скромну журнальну статтю про сільську ідилію, героями якої стали Фраяр Бейкон та його робітники. Реальними прототипами були відповідно Джон Беннет Лоз, власник садиби Рофамстед, що на північ від Лондона, та мешканці сусіднього села. Ті, хто цікавиться органікою, знають, що Рофамстед – це перша сільськогосподарська дослідницька станція, заснована Лозом у 1843 році для дослідження складних рільничих проблем (наприклад, чому на одних ґрунтах мелені кістки діють як добриво, а на інших – ні?). Пізніше Лоз придумав суперфосфат і заробив купу грошей разом зі своїм однооким колегою-хіміком Джозефом Генрі Гілбертом.

Той знав більше про добрива для рослин, оскільки трохи попрацював поруч із “королем добрив” Юстусом фон Лібігом у його новій лабораторії в Гіссені, Німеччина. Там Гілберт познайомився (і, без сумніву, обмінявся сільськими побрехеньками) з таким собі Джоном Огастесом Фолькером – хлопцем хоч куди. Дві його праці (“Про рідкі добрива” та “Хімія сілезьких цукрових буряків”), які можна з успіхом застосувати як ліки від безсоння, заслужують на особливу увагу. Фолькер добре знався на цій справі (і на буряках, я гадаю, теж), оскільки навчався разом із хлопцем, якого Лібіг відсунув у тінь. Цим невдахою був Фрідріх Волер – вічний послідовник і друг Лібіга, а також автор безсмертної фрази, яку він вжив у листі до іншого світила

Виконання хіміка доручили перукарю.

хімії Йонса Якоба Берцеліуса: “Я більше не можу, як раніше, утримувати мою хімічну сечу”. Це було написано після того, як йому вдалося синтезувати сечовину без допомоги нирки. Потім він зайнявся розробкою способу виділення алюмінію.

Волер належав до хіміків, котрим вдавалося те, чого не могли інші. Сумна доля одного з цих “інших” (і одного з багатьох, кому не поталанило з алюмінієм) мало чим відрізнялася від долі більшості данських дітей до настання в країні суцільного добробуту. Його батьки були надто заклопотані молодшими дітьми (мати) і роботою (батько), щоб доглядати за ним та одним із його братів. Тому хлопців віддали на виховання німецькому іммігрантові, виробникові перук. Ганс Крістіан Ерстед (майбутній хімік-невдаха) вивчив німецьку, читав Библию майстра, а потім захопився найновішою німець-

кою філософською нісенітницею – натурфілософією Йенських романтиків, які стверджували, що природа еволюціонує завдяки взаємодії протилежних сил.

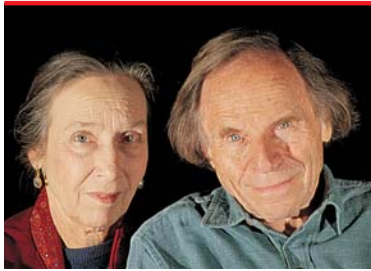
Натхнений цією дивовижною, Ганс Крістіан (дехто, мабуть, про це знає) у 1819 році встановив, що навколо провідника, в якому тече електричний струм, виникає магнітне поле – тобто відкрив електромагнетизм. Нам цікаво ще й те, що на початку XIX сторіччя Ерстед створив таку собі Велику Уніфіковану Теорію, гаслом якої було “Нехай сила буде з вами!”

Ця теоретична нісенітниця звела його з чоловіком, чие коротке життя (він помер у 33 роки) можна охарактеризувати словом “пошарпане”. За 13 років активної творчої діяльності Йоган Вільгельм Ріттер (одна з тих яскравих іскор, що їх роздмухував Александр фон Гумбольдт) написав безліч дослідницьких праць. На жаль, вони не справили жодного враження на його сучасників. Багато його відкриттів у галузі електрофізіології та електрохімії пізніше безсоромно повторили інші. Бідному Ріттеру не пощастило – він народився не у свій час. Шкодило йому ще й те, що деякі з його колег ставилися до його робіт майже з таким самим ентузіазмом, як більшість із нас – до процесу холодної плавки.

Крім усього іншого, чимало Ріттерових експериментів просто неможливо було повторити – як, скажімо, результати жажлихих дослідів, які він проводив на собі, щоб визначити вплив високої напруги на сприйняття. Ріттер також цікавився явищами, які загалом виходили за межі здорового глузду, як от пророкування по воді чи зачарування металу (про що йдеться в останньому, я й сам не знаю).

Продовження на стор. 94





ЧУДЕСА

Філіпа Моррісона та Філіс Моррісон

Мережачи космічні глибини

Філіп та Філіс Моррісон пояснюють, як астрономам вдається з неймовірною точністю визначати розташування зір, застосовуючи одиниці вимірювання, успадковані від стародавніх вавилонян

Якщо витягнути руку на всю довжину, то вказівний палець затулятиме на небі не більш ніж півградуса — саме стільки займає Місяць. Але ж нікому не спадає на думку, що наш супутник завбільшки із палець, або що кулак — то цілий космос. Такі збіги не вказують ані на відстань, ані на розміри, а радше символізують їхнє співвідношення — як певна частина цілого кола. Куткові відстані вимірюють так давно, що для їх опису використовують одиниці вимірювання, винайдені ще у стародавньому Вавилоні. Повне коло має 360 градусів, кожен градус складається з 60 однакових мінут дуги, а кожна мінута ділиться на 60 секунд дуги. (Ми вживаємо слово “дуга”, щоб уникнути асоціацій з відомими мірами часу). Зауважте, що нам зовсім не конче знати відстань до Місяця, щоб визначити його куткові розміри. Довжина відрізка віддаленої дуги просто пропорційна до віддалі.

Загалом астрономія давно товаришує з кутами. Небесний час, відстані та розміри, карти небесної сфери — все це постало з поняття кута. Перший докладний зоряний каталог налічував приблизно 1000 позицій із точністю кожної до 20 мінут дуги. Його склав у 150 році до н. е. грек Гіппарх з острова Родос. Ймовірно, він використовував для цього настільний бронзовий сонячний годинник. Приблизно у 1600 році Тихо Браге за допомогою великих настінних кругів та металевих візирів поставив новий рекорд точності — приблизно одна мінута для переліку із 1000 зір. У 1712 році перший британський королівський астроном, винахідливий фундатор систематичного укладання карт зоряного неба за допомогою телескопів Джон Флемстід закінчив свій каталог із 3000 зір, точність розташування яких не виходила за межі 10 секунд дуги.

Мала одиниця вимірювання — секунда дуги — добре надається для опису

найближчих зоряних околиць. Застосування телескопів вивело астрономію на новий рівень. Перший вагомий результат — міради нововідкритих зір, надто слабких, щоб їх можна було побачити неозброєним оком. Далі з'ясувалося, що більшість із них має численних сестер — приблизно дві третини відомих зір входить до множинних систем. І хоча візуальне сусідство зір залежить від вибору позиції для спостереження, справжні зоряні сім'ї скупчуються в ділянках завбільшки кілька секунд дуги. У цих межах вони помітно зміщуються під дією ньютонівської гравітації. Згодом виявилось, що “фіксо-



вані” зорі назагал вельми рухливі, і їхні зміщення пов'язані не лише з обертанням Землі. Однак ці рухи впоперек лінії зору (вони називаються власними рухами) настільки малі, що для їх ототожнення потрібно знати відносні положення зір із точністю до однієї секунди дуги впродовж кількох років.

Уявіть собі зорю в космосі. Нехай її власний рух доволі великий — скажімо, п'ять секунд дуги за рік. Чи зміщуватиметься вона на небі уздовж прямої лінії? Ні, адже Земля, на якій розміщені всі наші телескопи, упродовж року рухається навколо Сонця по еліпсу (саме так земна орбіта виглядає з погляду згаданої зорі). Її діаметр — приблизно 0,4 секунди дуги. Вихлястий шлях зорі, який ми бачимо, — це комбінація власного руху зорі відносно Сонця та проєкції на небесну сферу еліпса від

руху спостерігача. За допомогою графіка, на якому відкладено положення зір, можна розв'язати найпростішу задачу огляду — знайти відстань до рухомої зорі в одиницях довжини базису (орбіта Землі навколо Сонця).

Наприкінці 30-х років XIX сторіччя відомий німецький астроном та математик Фрідріх Бессель за допомогою тригонометрії й телескопа у Кенігсбергу (тепер Калінінград) уперше визначив відстань до слабкої зорі 61 Лебеда. До зорі виявилось далеченько — 11 світлових років. Цей результат на 20 відсотків менший від теперішнього значення (сьогодні відомо, що 61 Лебеда — це потрібна система). У ті часи зміщення зір вимірювали за допомогою телескопа: астроном поволі повертав калібрувальний гвинт, щоб навести хрестовину на зорю або сумістити розділене зображення. А це не так просто. Навіть найближча зорю виглядає як малесенька яскрава цятка, що має лише 0,02 дугових секунди упоперек (за умови, що якість зображення ідеальна). Вібрації, завихрення повітря та інші обмеження, накладені недосконалою оптикою телескопів, розмивають зображення. (Ще Галілей зауважив це, працюючи зі своїм першим телескопом. Помітні неозброєним оком зорі виглядали справжніми гігантами — наче мали кілька мінут упоперек, “з короною із миготливих променів”. Що ж до видимого у телескоп кута, то він “...визначається не стільки самим тілом зорі, скільки свіченням довкола неї”, яке й сприймає наше око).

Коли в астрономію прийшла фотографія, для неї відразу знайшлася робота. За оптимально підібраних умов зоря постає у вигляді невеликої розмитої плямки приблизно в одну секунду дуги. Інколи на лінійний сантиметр фотопластини припадають тисячі зображень зір. Ретельно контролюючи умови, це зображення можна сильно збільшувати

ти — поки після багатьох експозицій відхилення не компенсуються й не вдається визначити центр зображення.

Починаючи від 50-х років XX сторіччя, тисячі відстаней і власних рухів зір були внесені до “Загального каталога” німецької серії “Фундаментальних каталогів” (*Fundamental Katalog, FK*). Вони відзначалися надзвичайною якістю, але були невеликі за обсягом, тож на початок 1980-х похибки становили вже 200 мілісекунд. Згодом зернини срібла поступилися місцем електронним пристроям підрахунку фотонів, і найкращі вимірювання давали похибку на рівні 20 мілісекунд. Це уможливило визначення відстаней у кілька сотень світлових років. Такий результат забезпечують нові пристрої із зарядовим зв’язком, які складаються з пікселів мікроскопічних розмірів.

Сьогодні майже всі значні космічні відстані встановлені непрямыми методами, що опираються на результати геометричних обмірів. Крістіан де Фегт і К. Джонсон починають свою оглядову працю (вона з’явилася у 1999 році) зі зведеної діаграми цієї довгої історії. Куткові похибки упродовж тривалого часу плавно зменшувалися, а в 1990-х роках різко стрибнули донизу, коли самі обсерваторії

перекочували в космос. Європейський космічний зонд “Гіппархос” визначив відстані до 100 000 зір у трьох проекціях із загальною точністю приблизно одна мілісекунда дуги, опираючись на синхронні виміри. [Див. публікацію про нього у лютневому числі *Scientific American* за 1998 рік].

Повертаючись у 1950-і роки, варто зауважити, що тоді крива куткових похибок починалася із несподівано великих значень. Сьогодні такі вимірювання вже не застосовують до зір. Вони описують результати пошуків та ідентифікації квазарів і радіогалактик, що перебувають на відстані сотень мільйонів світлових років, практично не зміщуючись уперек лінії зору (принаймні виміряти це зміщення неможливо). Вісім спеціальних радіотелескопів, розташованих на території Північної Америки, сформували “Набір з дуже довгим базисом” (*Very Long Baseline Array, VLBA*). Його станції дослідили вибрані радіоджерела, проводячи синхронні вимірювання. Сигнали вузького частотного діапазону (в межах гігагерца) надходять до локального атомного годинника, де відбувається їх синхронний запис. Виступи і западини в радіоспектрі кожного джерела від кожної станції ретельно порів-

нюють. Для знаходження оптимальної відповідності між відносними затримками сигналу і годинником центральний процесор перебирає мільярди зразків. За наносекунду такі хвилі долають відстань приблизно в один крок; високої точності вдається досягти шляхом частих замірів віддалі між станціями, похибка яких не перевищує кількох метрів на тисячі кілометрів. 200 ретельно вивчених джерел стають радіомаяками для нової карти всього неба. Параметри розташування зір, визначені “Гіппархосом”, були уніфіковані зі згаданою Міжнародною Небесною Системою Відліку, в якій також враховані дані про рух Землі, отримані за десятки років роботи над попередніми каталогами.

Загалом, до остаточних висновків ще далеко. Ймовірно, незабаром з’являться амбіційні плани щодо картографування космосу. Втім, істотні обмеження для вимірювань виникнуть на межі кількох мікросекунд дуги, оскільки електромагнітні хвилі, проходячи крізь неоднорідності у темній та світній масі, загинаються під дією їхньої гравітації. Словом, ми закидатимемо нашу сіть чимраз далі у космос, але наразі вистачає й тієї, що побудована на основі VLBA/Гіппархос/ФК. CA

Зв’язки, продовження зі стор. 92

Остаточно ж наукова громадськість відвернулася від Ріттера після його твердження про існування особливого підземного виду електрики — щось на зразок геомагнетизму. А на завершення він вирішив, що відкрив загальний принцип взаємодії між неорганічною матерією і людським феноменом. Він назвав цей принцип “сайдеризмом” і започаткував новий журнал, присвячений цій темі. Журнал припинив своє існування після виходу першого числа. Потім Ріттер помер. Не вся наука закінчується на Нобелі.

Клопотів Ріттерові додав його гуру Франц фон Баадер — колишній гірничий інженер, який став містиком і екуменістом. У консервативного католика Баадера в житті було дві мети: примирити розум і одкровення (ви ж бачите, що приваблювало Ріттера) і допомогти об’єднати Європу під владою однієї універсальної церкви. Тому він

зі шкіри ліз, підтримуючи Священний Союз Росії, Австрії та Пруссії, укладений після остаточного розгрому Наполеона в 1815 році з метою придушення ліберальних і національно-визвольних настроїв, які той розбурхав. Однак ця мила репресивна спілка незабаром розпалася.

Не без допомоги, між іншим, Джорджа Каннінга, британського міністра закордонних справ, який шкодив Священному Союзові, як тільки випадала зручна нагода. Каннінг був одним із тих блискучих інтелектуалів, які займалися політикою до того, як запанувала цілковита демократія. Майстер писаного слова й чудовий оратор, він ще в Ітоні на все життя потоваришував із Джорджем Еллісом, який пізніше допоміг заснувати один із найвідоміших літературно-критичних журналів усіх часів “*Quarterly Review*”. У 1806 році завдяки Еллісу Каннінг поз-

найомився й пообідав з одним із найповажніших кореспондентів “*Review*”, сером Вальтером Скоттом.

Зірка Скотта щойно спалахнула після виходу “Пісні останнього менестреля”, яка принесла йому подвійний результат (славу і гроші). На той час його наступний мегабестселер “Веверлі” вже був наполовину написаний. Попереду Скотта чекали титул, дружба з королем, величний будинок у Шотландії й неприховані лестощі з боку вищого світу Європи та Америки. Тобто це була людина, від якої ви не мали жодних шансів отримати згоду написати кілька поганеньких віршів, щоб покласти їх на зібрані вами старі народні мелодії. Але, мабуть, згадка про Бетховена подіяла магічно. Як воно було насправді — невідомо, але славетний сер Вальтер знайшов-таки час, щоб нашкрябати пару віршиків для надокучливого Джорджа Томсона, з якого я й почав свою розповідь. лк

Ризиковані ставки

Припустимо, що ви — менеджер венчурного фонду. Ви повинні вибрати 11 ризикових компаній, кожна з яких має добрі шанси швидкого зростання, що забезпечить вам десятикратне повернення капіталу порівняно з вашою інвестицією в цю компанію. Однак ваші інвестори вимагають певних гарантій. Чи можете ви застосувати ваші математичні здібності для підвищення ймовірності фінансового успіху?

Ось вам завдання для розігріву. Скажімо, ваш фонд має 17 мільйонів доларів для інвестицій. Кожна з 11 компаній має 40 відсотків шансів десятикратного повернення інвестицій і 60 відсотків шансів збанкрутувати. Ваші ж інвестори припускають 60 відсотків ймовірності, що фонди зростуть мінімум до 60 мільйонів доларів. Тож як Ви інвестуєте цих 17 мільйонів?

Зрозуміло, якщо вкласти всі гроші в одну компанію, це не спрацює, адже ймовірність успіху не перевищить 40 відсотків. Але якщо інвестувати у дві компанії, шанси на успіх одразу збільшуються до 64 відсотків (оскільки ймовірність того, що обидві компанії збанкрутують, не перевищують $0,6 \times 0,6 = 0,36$). Отже, якщо інвестувати 6 мільйонів у кожну компанію, ви отримуєте перспективу повернення 60 мільйонів. Крім того, 5 мільйонів залишитися в резерві на той випадок, якби раптом з'явилася нагода для кращої інвестиції. Подальше ж розширення ставок небажане. Наприклад, якщо ви інвестуєте по 3 мільйони у кожну з чотирьох компаній, сподіваючись, що дві чи більше виявляться успішними, ймовірність вашого успіху заледве перевищить 50 відсотків.

Тепер припустимо, що економіка несподівано зростає. Кожна із 11 ризико-

вих компаній тепер має 85 відсотків шансів десятикратного повернення вкладень. Але зростають і вимоги інвесторів. Вони хочуть 95-відсоткової гарантії, що їхні фонди зростуть із 17 до 100 мільйонів доларів. Знову ж таки, інвестування в одну компанію не спрацює. Більше того, надання двом компаніям по 8,5 мільйонів кожній також не дає потрібних гарантій. І хоча є 97,75 відсотків ймовірності, що хоча б одна компанія буде успішною, десятикратне повернення 8,5 мільйонів дасть лише 85 мільйонів доларів. Спробуйте задовольнити вимоги інвесторів так, щоб зберегти якомога більше резервного капіталу.

БФ

Відповідь до головоломки минулого місяця: Фей притягують такі кольори: Джуліану — бірюзовий, Катіану — теракотовий, Олівіану — колір слонової кістки, Аню — фіолетовий, Гіту — смарагдовий. Детальніше дивися на www.sciam.com



Сканувальні електронні мікроскопи

Картинка просто вражає. Найменша комашка, збільшена у 10 000 разів, виглядає як гігантський прибулець із фантастичного фільму. Вона настовбурчилася кігтями й щелепами і готова знищити наш світ. За всі ці незабутні враження подякуймо сканувальному електронному мікроскопові.

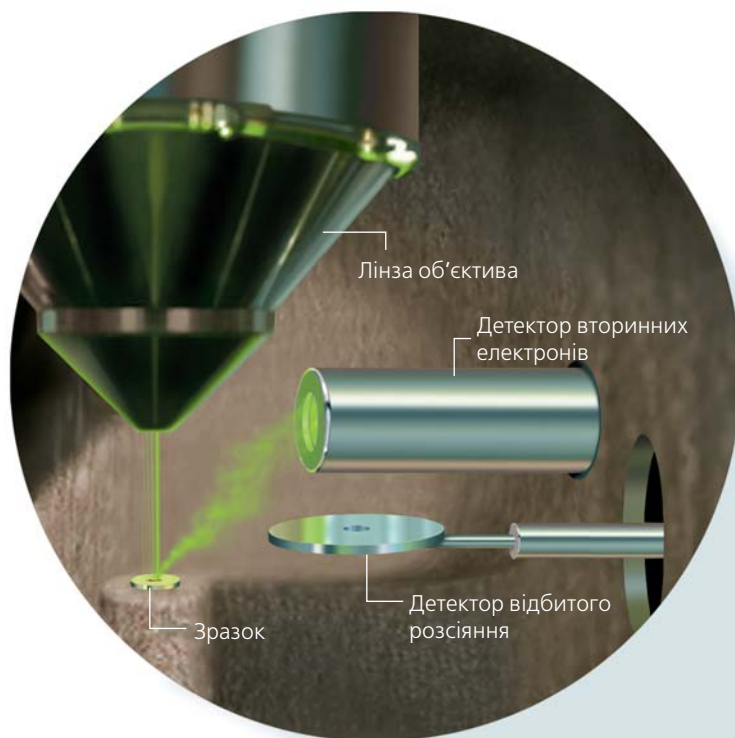
Сканувальні електронні мікроскопи (СЕМи) збільшують об'єкти у мільйон разів. Результати їхньої роботи зачаровують своєю чіткістю — поверхня об'єкта відтворюється з роздільною здатністю мінімум 100 ангстремів. Крім того, СЕМи можуть визначити хімічний склад досліджуваних зразків.

Хоч найчастіше СЕМи використовують для розглядання комах та інших живих організмів, ці пристрої “неймовірно багатофункціональні”, — стверджує Скотт Чамблі, професор матеріалознавства та інженерії Державного університету штату Айова. Скажімо, промислові інженери за допомогою СЕМів з'ясовують причини руйнування матеріалів (унаслідок втоми, корозії чи надмірного зусилля на розтяг). Виробники реактивних двигунів аналізують частинки, вловлені масляними фільтрами, для визначення частин двигуна, які надмірно зношуються. Досліджуючи клітини, медики можуть побачити, як руйнується кістка, і з'ясувати, чи не атакують тканину бактерії. Судмедексперти встановлюють, чи волосся, волокна одягу або ж сліди від пострілів, виявлені у різних місцях, походять з одного джерела.

Стандартний сканувальний електронний мікроскоп, здатний виконувати перелічені функції, коштує від \$150 000 до \$300 000. Дослідний зразок висушують і вкривають шаром провідних атомів, щоб негативні заряди не “застрягли” при скануванні зразка пучком високоенергетичних електронів. Удосконалені пристрої на зразок СЕМа низького тиску чи СЕМа, що працює в умовах навколишнього середовища, “бачать” і непідготовлені зразки, але при повному оснащенні вони коштують близько мільйона доларів. Один із таких продуктів — мікроскоп Quanta компанії FEI з Гіллсборо, Орегон — дозволяє операторові зволожувати, нагрівати, розтягувати і стискати дослідний зразок.

СЕМ — не лише чудовий науковий інструмент. Художники використовують ці мікроскопи для увічнення звичних (або ж не дуже звичних) об'єктів, а для посилення зачарування вони розфарбовують чорнобілі зображення. Фотографії клітин шкіри, цвілі чи мінералів можуть незабаром з'явитися у книжках та художніх галереях поряд із фотороботами і картинами традиційних художників.

Марк Фішетті



KENT SNODGRASS Precision Graphics; MICROANGELA/TINA CARVALHO Biological EM Facility, University of Hawaii (spider hair, black ant)

ДОСЛІДЖУВАНИЙ ЗРАЗОК —

висушений та вкритий провідними атомами (зазвичай золотом), які притягують електронний пучок. Пучок взаємодіє з електронною хмарою зразка, вибиваючи низькоенергетичні електрони. Заряджений детектор вторинних електронів усередині дослідної камери негайно притягує всі низькоенергетичні електрони, повторюючи цю операцію мільйони разів за секунду. Кожне захоплення електрона відповідає пікселю поверхні об'єкта. Каскадний підсилювач посилює сигнали електронів, які комп'ютер сприймає як струм. Елементи у зразку можна визначити, рухаючи детектором відбитого розсіяння. Пучок проходить через отвір, а потім крізь зразок. Різні атомні ядра по-різному відхиляють електрони, тож деякі з них, потрапляючи на нижню частину детектора, дозволяють з високою точністю ідентифікувати атом.

➤ **ВСЕРЕДИНИ, А НЕ НА ПОВЕРХНІ:** Замість бомбардувати електронами поверхню об'єкта для виявлення його топографії, трансмісійні електронні мікроскопи (ТЕМи) спрямовують електрони крізь об'єкт для виявлення його внутрішньої будови. ТЕМи розрізняють деталі завбільшки один ангстрем. Секрет у тому, що зразок слід попередньо підготувати – отримати зріз матеріалу завтовшки максимум 1000 ангстремів. Цей пристрій неспроможний "побачити" комара, але здатен виявити вірус, який ховається в клітинах комах.

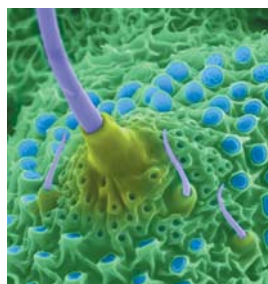
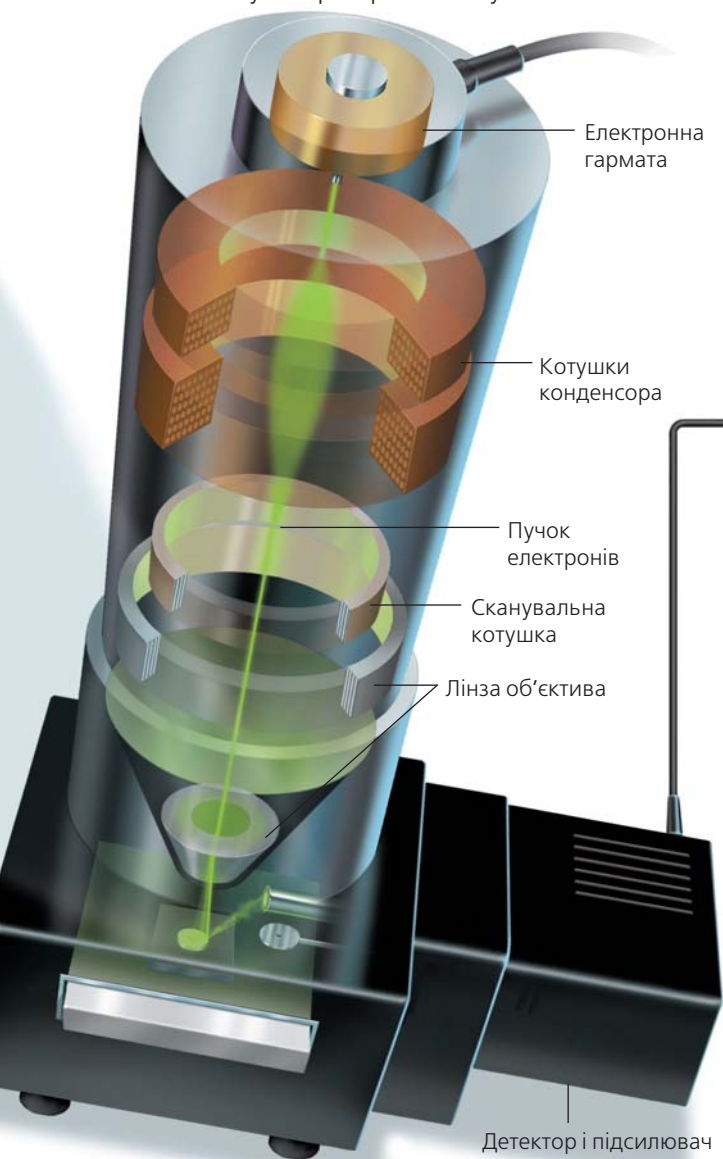
➤ **ДВАНАДЦЯТЬ КЛАСІВ:** Учні й викладачі початкової та вищої школи можуть використовувати СЕМ Державного університету штату Айова в режимі online. За допомогою спеціальної програми (див. www.mse.iastate.edu/excel), спонсорованої Національним науковим фондом, відділ матеріалознавства та інженерії підготує зразок, надісланий учнями, і помістить його в

СЕМ. У заздалегідь визначений час клас з'єднається із сервером і контролюватиме роботу пристрою, спостерігаючи за зображенням. Учні можуть рухати зразком, змінювати збільшення, фокус, контраст та яскравість, а також отримати результати його хімічного аналізу. Улюблені піддослідні об'єкти – папір, графіт олівців, цукор, листя рослин, комашки, бруд і цукерки.

➤ **ПІСКОСТРУМИННІ МІКРОПРИСТРОЇ:** Пристрої сфокусованого іонного пучка працюють подібно до СЕМів, але вони можуть спрямовувати пучок іонів (наприклад, галію) безпосередньо на зразок. Вони здатні відтворити зображення поверхні, а також витравлювати на матеріалі рисунки на зразок піскоструминних пристроїв. Їх часто використовують для пошуку й усунення дефектів на інтегральних мікросхемах, а також для роздроблення інших мікроструктур.

ЕЛЕКТРОННА ГАРМАТА

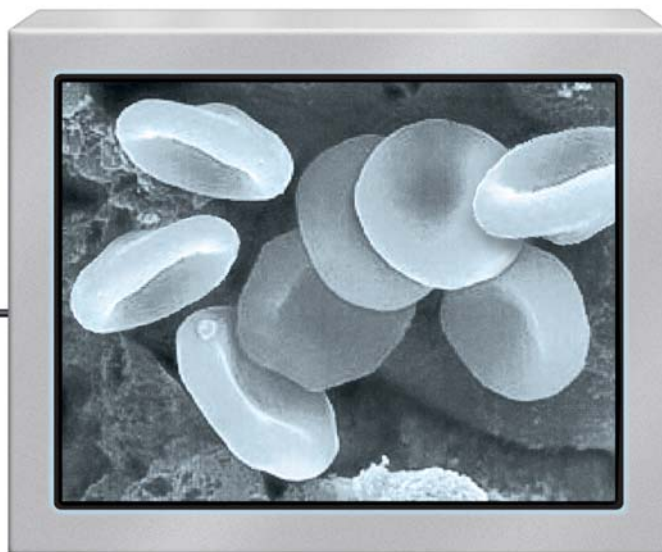
випромінює пучок електронів. Котушки електромагнітного конденсора колімують та ущільнюють пучок, а лінза об'єктива точно його фокусує. Сканувальні котушки створюють змінне магнітне поле, яке спрямовує пучок через зразок, забезпечуючи растрове сканування.



Волосинка павука



Чорна мураха



Клітини крові

КОМП'ЮТЕР ПЕРЕТВОРЮЄ

сигнали сканування поверхні у відповідне зображення на екрані. Підвищення на зразку виглядає на екрані світлішим, заглибина – темнішою. Нахилена до детектора ділянка поверхні теж постає дещо світлішою, натомість спрямована в інший бік – дещо темнішою. Людський мозок сприймає їх як світло й тінь – наче освітлені сонцем ландшафти.

Тему цього номера запропонував наш читач Кейт МакВікер. Якщо ви маєте цікаву ідею для наступного випуску, надішліть її на адресу workingknowledge@sciam.com.