

Світовий бестселер

МІЧІО КАЙКУ

# ФІЗИКА МАЙБУТНЬОГО

Як наука вплине на долю людства і  
змінить наше повсякденне життя у  
XXI сторіччі



Світовий бестселер

МІЧІО КАЙКУ

# ФІЗИКА МАЙБУТНЬОГО

Як наука вплине на долю людства і  
змінить наше повсякденне життя у  
XXI сторіччі



Мічіо Кайку

## Фізика майбутнього

*Як наука вплине на долю людства і змінить  
наше повсякденне життя у XXI сторіччі*

Переклад з англійської  
*Анжели Кам'янець*



ЛІТОПИС  
ЛЬВІВ — 2013

ББК 66.4 (4 Пол)  
УДК 341.238 (438)  
К 15

Мічію Кайку. Фізика майбутнього / Переклала з англ. Анжела Кам'янець. – Львів: Літопис, 2013. – 432 с.

У книжці-бестселері Мічію Кайку досліджує, як три великі наукові революції – квантова механіка, біогенетика і штучний інтелект, – що кардинально змінили світ в останні сто років, змінять наше життя в ХХІ сторіччі.

Спираючись на дослідження, які вже сьогодні проводять в наукових лабораторіях в усьому світі, Кайку передбачає майбутнє, у якому ми вже не будемо пасивними спостерігачами танцю Природи, а натомість перетворимося на активних хореографів матерії, життя й інтелекту. “Фізика майбутнього” – захоплива науково-популярна розповідь, що сплітає до купи найновіші досягнення провідних науковців світу. Книжка ґрунтується на інтерв'ю з понад 300 провідними науковцями, тими, що перебувають на передньому краї науки.

Майбутнє комп'ютера, штучного інтелекту, медицини, енергії, космічних подорожей і навіть майбутнє багатства – про це все можна дізнатися з книжки.

Для широкого кола читачів.

*Наукові редактори*  
**Іван Вакарчук, Віктор Федоренко**

*Видавці щиро дякують працівникам кафедри теоретичної фізики  
Львівського національного університету імені Івана Франка  
за допомогу в роботі над книжкою*

Видання здійснено за сприяння відділу преси, освіти і культури  
Посольства США в Україні

Copyright © 2011 by Michio Kaku

Фото на звороті обкладинки © Andrea Brizzi

© Анжела Кам'янець, український переклад, 2013

© Анна Ладик, обкладинка, 2013

© Літопис, 2013

ISBN 978-966-8853-36-4



*Присвячується моїй дорогій  
дружині Сицзуе, а також моїм  
донькам Мішель і Елісон*

## ЗМІСТ

<i>Подяка</i> .....	6
<b>Вступ</b>	
<i>Як скласти прогноз на наступні 100 років</i> .....	19
<b>Майбутнє комп'ютера</b>	
<i>Торжество розуму над матерією</i> .....	36
<b>Майбутнє штучного інтелекту</b>	
<i>Становлення роботів</i> .....	85
<b>Майбутнє медицини</b>	
<i>Досконалість і далі</i> .....	142
<b>Нанотехнології</b>	
<i>Все з нічого?</i> .....	201
<b>Майбутнє енергії</b>	
<i>Енергія зірок</i> .....	242
<b>Майбутнє космічних подорожей</b>	
<i>До зірок</i> .....	291
<b>Майбутнє багатства</b>	
<i>Хто виграє, а хто програє</i> .....	335
<b>Майбутнє людства</b>	
<i>Планетарна цивілізація</i> .....	369
<b>Один день у 2100 році</b> .....	396
<i>Примітки</i> .....	413
<i>Рекомендована література</i> .....	422
<i>Іменний покажчик</i> .....	424

# ПОДЯКА

Хочу подякувати всім тим, хто невтомно працював задля успіху цієї книжки. Передусім хочу подякувати своїм редакторам – Роджеру Шоллу, котрий керував виданням багатьох моїх попередніх книжок і підказав мені ідею такої непростой книжки, як оця, і Едварду Кастенмеєру, котрий дав мені безліч порад, як вдосконалити текст, завдяки яким книжка стала значно кращою. Також хочу подякувати Стюарту Крічевські, своєму багаторічному агентові, який завжди заохочує мене братися за нові, щораз захопливіші проекти.

І звісно ж, я хочу подякувати тим трьом сотням науковців, у яких я брав інтерв'ю і з якими розмовляв про науку. Хочу вибачитись за те, що приводив до їхніх лабораторій знімальні групи *BBC-TV* чи каналів *Discovery* і *Science* і розмахував у них перед обличчям мікрофоном і камерою. Можливо, це перешкоджало їхнім дослідженням, але сподіваюся, що кінцевий продукт був того вартий.

Ось імена деяких із цих першопрохідців і новаторів:

Ерік Чівіан (Eric Chivian), нобелівський лауреат, Центр здоров'я та світової екології, Гарвардська медична школа;

Пітер Догерті (Peter Doherty), нобелівський лауреат, Дитяча дослідницька лікарня Св. Іуди;

Джеральд Едельман (Gerald Edelman), нобелівський лауреат, Дослідницький інститут Скріппса;

Мюррей Гелл-Манн (Murray Gell-Mann), нобелівський лауреат, Інститут Санта-Фе і Каліфорнійський технологічний інститут;

Волтер Гілберт (Walter Gilbert), нобелівський лауреат, Гарвардський університет;

Девід Гросс (David Gross), нобелівський лауреат, Інститут теоретичної фізики Кавлі;

Генрі Кендалл (Henry Kendall), нині покійний, нобелівський лауреат, Массачусетський технологічний інститут (MIT);

Леон Ледерман (Leon Lederman), нобелівський лауреат, Іллінойський технологічний інститут;

Йоїчіро Намбу (Yoichiro Nambu), нобелівський лауреат, Чиказький університет;

Генрі Поллак (Henry Pollack), нобелівський лауреат, Університет Мічигана;

Джозеф Ротблат (Joseph Rotblat), нобелівський лауреат, Лікарня Св. Варфоломія;

Стівен Вайнберг (Steven Weinberg), нобелівський лауреат, Університет штату Техас у м. Остін;

Френк Вілчек (Frank Wilczek), нобелівський лауреат, MIT;

Амір Аксел (Amir Aczel), автор книги *Уранові війни (Uranium Wars)*;

Базз Олдрін (Buzz Aldrin), у минулому астронавт НАСА, друга людина, яка побувала на Місяці;

Джефф Андерсен (Geoff Andersen), науковий співробітник, Академія ВПС США, автор книги *Телескоп (The Telescope)*;

Джей Барбрі (Jay Barbee), кореспондент телеканалу NBC, співавтор книги *Мета – Місяць (Moon Shot)*;

Джон Барров (John Barrow), фізик, Кембріджський університет, автор книги *Неможливість (Impossibility)*;

Марсія Бартусяк (Marcia Bartusiak), автор книги *Незакінчена симфонія Айнштайна (Einstein's Unfinished Symphony)*;

Джим Белл (Jim Bell), професор астрономії, Корнелльський університет;

Джеффри Беннет (Jeffrey Bennet), автор книги *НЛО: що далі? (Beyond UFOs)*;

Боб Берман (Bob Berman), астроном, автор книги *Таємниці нічного неба (Secrets of the Night Sky)*;

Леслі Бізекер (Leslie Biesecker), керівник лабораторії досліджень генетичних хвороб Національного інституту здоров'я;

Пірс Бізоні (Piers Bizony), науковий журналіст, автор книги *Як побудувати власний космічний корабель (How to Build Your Own Spaceship)*;

Майкл Блейз (Michael Blaese), у минулому науковий співробітник Національного інституту здоров'я;

Алекс Безе (Alex Boese), засновник веб-сайту *Музей розіграшів (Museum of Hoaxes)*;

Нік Бостром (Nick Bostrom), трансгуманіст, Оксфордський університет;

Роберт Бовман (Robert Bowman), підполковник, Інститут досліджень космосу і безпеки;

Лоуренс Броуді (Lawrence Brody), керівник відділення геномних технологій Національного інституту здоров'я;

Родні Брукс (Rodney Brooks), у минулому директор лабораторії штучного інтелекту MIT;

Лестер Браун (Lester Brown), засновник Інституту земної політики (Earth Policy Institute);

Майкл Браун (Michael Brown), професор астрономії, Каліфорнійський технологічний інститут;

Джеймс Кентон (James Cantor), засновник Інституту глобального майбутнього (Institute of Global Futures), автор книги *Граничне майбутнє (The Extreme Future)*;

Артур Каплан (Arthur Caplan), директор центру біоетики Пенсильванського університету;

Фрітьоф Капра (Fritjof Capra), автор книги *Наука Леонардо (The Science of Leonardo)*;

Шон Керролл (Sean Carroll), космолог, Каліфорнійський технологічний інститут;

Ендрю Чайкін (Andrew Chaikin), автор книги *Людина на Місяці (A Man on the Moon)*;

Лерой Чао (Leroy Chiao), у минулому астронавт НАСА;

Джордж Черч (George Church), директор центру обчислювальної генетики Гарвардської медичної школи;

- Томас Кохран (Thomas Cochran), фізик, Рада із захисту природних ресурсів (Natural Resources Defence Council);
- Крістофер Кокінос (Christopher Cokinos), науковий журналіст, автор книги *Небо, що впало* (*The Fallen Sky*);
- Френсіс Коллінз (Francis Collins), директор Національного інституту здоров'я;
- Вікі Колвін (Vicki Colvin), директор з нанотехнологій в галузі біології та навколишнього середовища, університет Райса;
- Ніл Комінз (Neil Comins), автор книги *Небезпеки космічних подорожей* (*The Hazards of Space Travel*);
- Стів Кук (Steve Cook), директор підрозділу космічних технологій компанії *Dynetics*, у минулому речник НАСА;
- Крістін Косгроув (Christine Cosgrove), автор книги *Нормальність будь-яким коштом* (*Normal at Any Cost*);
- Стів Казінс (Steve Cousins), президент і виконавчий директор компанії *Willow Garage*;
- Браян Кокс (Brian Cox), фізик, Університет Манчестера, науковий ведучий на телеканалі *BBC*;
- Філіп Койл (Phillip Coyle), у минулому помічник міністра оборони США;
- Деніел Крев'єр (Daniel Crevier), автор книги *Штучний інтелект: бурхлива історія пошуків штучного інтелекту* (*AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*), виконавчий директор компанії *Coreco*;
- Кен Кросвелл (Ken Croswell), астроном, автор книги *Величний Всесвіт* (*Magnificent Universe*);
- Стівен Куммер (Steven Sumner), спеціаліст з комп'ютерних наук, Дюкський університет;
- Марк Куткоскі (Mark Cutkosky), відділ машинобудування, Стенфордський університет;
- Пол Дейвіс (Paul Davies), фізик, автор книги *Суперсила* (*Superforce*);
- Обрі де Грей (Aubrey de Grey), головний науковий співробітник фонду *SENS*;
- Майкл Дертузос (Michael Dertouzos), нині покійний, у минулому директор лабораторії комп'ютерних досліджень МІТ;
- Джаред Даймонд (Jared Diamond), лауреат Пулітцерівської премії, професор географії, Каліфорнійський університет у Лос-Анджелесі;

- Мар'єтта ДіКрістіна (Mariette DiChristina), головний редактор журналу *Scientific American*;
- Пітер Ділворт (Peter Dilworth), у минулому співробітник лабораторії штучного інтелекту MIT;
- Джон Донаг'ю (John Donoghue), творець системи *BrainGate*, Університет Брауна;
- Енн Друян (Ann Druyan), вдова Карла Сагана, виконавчий директор *Cosmos Studios*;
- Фріман Дайсон (Freeman Dyson), почесний професор фізики, Інститут перспективних досліджень, Принстон;
- Джонатан Елліс (Jonathan Ellis), фізик, ЦЕРН;
- Даніел Фербенкс (Daniel Fairbanks), автор книги *Релікти Едему (Relics of Edem)*;
- Тімоті Ферріс (Timothy Ferris), почесний професор Каліфорнійського університету в Берклі, автор книги *Зрілість у Чумацькому Шляху (Coming of Age in the Milky Way)*;
- Марія Фініцо (Maria Finitzo), автор науково-популярних фільмів, лауреат премії Пібоді за фільм *Як досліджувати стовбурові клітини (Mapping Stem Cell Research)*;
- Роберт Фінкельштейн (Robert Finkelstein), фахівець в галузі штучного інтелекту;
- Крістофер Флавін (Christopher Flavin), Інститут всесвітнього спостереження (WorldWatch Institute);
- Луїс Фрідман (Louis Friedman), один із засновників Планетарного товариства;
- Джеймс Гарвін (James Garvin), у минулому старший науковий співробітник Центру імені Годдарда при НАСА;
- Евалін Гейтс (Evalyn Gates), автор книги *Телескоп Айнштайна (Einstein's Telescope)*;
- Томас Грем (Thomas Graham), дипломат, фахівець у сфері супутників-шпигунів;
- Джек Гейгер (Jack Geiger), один із засновників товариства *Лікарі за соціальну відповідальність (Physicians for Social Responsibility)*;
- Девід Гелернтер (David Gelernter), професор комп'ютерних наук, Єльський університет;
- Ніл Гершенфельд (Neil Gershenfeld), директор центру бітів і атомів, MIT;

- Пол Гілстер (Paul Gilster), автор книги *Центавріанські мрії (Centauri Dreams)*;
- Ребекка Голдбург (Rebecca Goldberg), у минулому старший науковий співробітник Фонду із захисту довкілля, директор програми морських досліджень Благодійного фонду П'ю;
- Дон Голдсміт (Don Goldsmith), астроном, автор книги *Розширення Всесвіту (The Runaway Universe)*;
- Сет Голдстейн (Seth Goldstein), професор комп'ютерних наук, Університет Карнегі-Меллона;
- Девід Гудстейн (David Goodstein), у минулому помічник проректора Каліфорнійського технологічного інституту, професор фізики;
- Річард Готт III (J. Richard Gott III), професор астрофізики Принстонського університету, автор книги *Подорожі в часі в Айнштайновому всесвіті (Time Travel in Einstein's Universe)*;
- Джон Грант (John Grant), автор книги *Корумпована наука (Corrupted Science)*;
- Стівен Джей Гулд (Stephen Jay Gould), нині покійний, біолог, корпорація *Harvard Lightbridge Corp.*;
- Ерік Грін (Eric Green), директор Національного інституту дослідження геному людини, Національний інститут здоров'я;
- Рональд Грін (Ronald Green), автор книги *Діти на замовлення (Babies by Design)*;
- Браян Грін (Brian Greene), професор математики і фізики, Колумбійський університет, автор книги *Елегантний Всесвіт (Elegant Universe)*;
- Алан Гут (Alan Guth), професор фізики, МІТ, автор книги *Всесвіт, що розширюється (The Inflationary Universe)*;
- Вільям Хансон (William Hanson), автор книги *Передній край медицини (The Edge of Medicine)*;
- Леонард Гейфлік (Leonard Hayflick), професор анатомії Медичної школи Каліфорнійського університету в Сан-Франциско;
- Дональд Гіллебранд (Donald Hillebrand), директор центру транспортних досліджень Аргоннської національної лабораторії;
- Френк фон Гіппл (Frank von Hippel), фізик, Принстонський університет;
- Джеффри Гоффман (Jeffrey Hoffman), у минулому астронавт НАСА, професор аеронавтики і астронавтики, МІТ;



- Дуглас Гофштадтер (Douglas Hofstadter), лауреат Пулітцерівської премії, автор книги *Гьодель, Ешер, Бах (Gödel, Escher, Bach)*;
- Джон Горган (John Horgan), Технологічний інститут Стівенса, автор книги *Кінець науки (The End of Science)*;
- Джеймі Гайнеман (Jamie Hyneman), ведучий програми *Руйнівники легенд (MythBusters)*;
- Кріс Імпі (Chris Impey), професор астрономії, Університет штату Арізона, автор книги *Живий космос (The Living Cosmos)*;
- Роберт Айрі (Robert Irie), у минулому науковий співробітник лабораторії штучного інтелекту MIT, Массачусетська лікарня загальної практики;
- П. Якобович (P. J. Jacobowitz), журнал *PC magazine*;
- Джей Ярослав (Jay Jaroslav), у минулому науковий співробітник лабораторії штучного інтелекту MIT;
- Дональд Йогансон (Donald Johanson), палеоантрополог, що знайшов Люсі;
- Джордж Джонсон (George Johnson), науковий журналіст, газета *New York Times*;
- Том Джоунз (Tom Jones), у минулому астронавт НАСА;
- Стів Кейтс (Steve Kates), астроном і радіоведучий;
- Джек Кесслер (Jack Kessler), професор неврології, директор Неврологічного інституту Файнберга, Північно-Західний університет;
- Роберт Кіршнер (Robert Kirshner), астроном, Гарвардський університет;
- Кріс Кеніг (Kris Koenig), автор науково-популярних фільмів і астроном;
- Лоренс Краусс (Lawrence Krauss), Університет штату Арізона, автор книги *Фізика в серіалі Зоряний шлях (Physics of Star Trek)*;
- Роберт Лоренс Кун (Robert Lawrence Kuhn), філософ, автор науково-популярних фільмів, передачі *Ближче до істини (Closer to Truth)* на телеканалі *PBS TV*;
- Рей Курцвейл (Ray Kurzweil), винахідник, автор книги *Ера одухотворених машин (The Age of Spiritual Machines)*;
- Роберт Ланца (Robert Lanza), фахівець з біотехнологій, компанія *Advanced Cell Technology*;
- Роджер Лауніус (Roger Launius), співавтор книги *Роботи в космосі (Robots in Space)*;
- Стен Лі (Stan Lee), автор коміксів *Марвел (Marvel)* і *Людина-павук (Spider-Man)*;

Майкл Лемонік (Michael Lemonick), у минулому старший науковий редактор, журнал *Time*, громадська організація *Climate Central*;  
Артур Лернер-Лем (Arthur Lerner-Lam), геолог, вулканолог, Колумбійський університет;

Саймон ЛеВей (Simon LeVay), автор книги *Коли наука помиляється* (*When Science Goes Wrong*);

Джон Льюїс (John Lewis), астроном, Університет штату Арізона;

Алан Лайтман (Alan Lightman), MIT, автор книги *Мрії Айнштайна* (*Einstein's Dreams*);

Джордж Лайнеген (George Linehan), автор книги *SpaceShipOne*;

Сет Ллойд (Seth Lloyd), MIT, автор книги *Програмуючи Всесвіт* (*Programming the Universe*);

Джозеф Ликкен (Joseph Lykken), фізик, Національна прискорювальна лабораторія імені Енріко Фермі;

Роберт Манн (Robert Mann), автор книги *Судовий детектив* (*Forensic Detective*);

Майкл Пол Мейсон (Michael Paul Mason), автор книги *Головні справи* (*Head Cases*);

В. Патрік МакКрей (W. Patrick McCray), автор книги *Не забувайте спостерігати за небом!* (*Keep Watching the Skies!*);

Гленн МакГі (Glenn McGee), автор книги *Ідеальна дитина* (*The Perfect Baby*);

Джеймс МакЛуркін (James McLurkin), у минулому науковий співробітник лабораторії штучного інтелекту MIT, Університет Райса;

Пол МакМіллан (Paul McMillan), директор проекту *Spacewatch*, Університет штату Арізона;

Петті Маес (Pattie Maes), медіалабораторія MIT;

Фулвіо Мелія (Fulvio Melia), професор фізики і астрономії, Університет штату Арізона;

Вільям Меллер (William Meller), автор книги *Еволюція Rx* (*Evolution Rx*);

Пол Мельцер (Paul Meltzer), Національний інститут здоров'я;

Марвін Мінські (Marvin Minsky), MIT, автор книги *Суспільство розуму* (*The Society of Mind*);

Ганс Моравек (Hans Moravec), професор Університету Карнегі-Меллонна, автор книги *Робот* (*Robot*);

Філіп Моррісон (Phillip Morrison), нині покійний, фізик, MIT;

Річард Мюллер (Richard Muller), астрофізик, Каліфорнійський університет у Берклі;

Девід Нагаму (David Nahamoo), у минулому співробітник *IBM*, відділ технологій людської мови;

Крістіна Ніл (Christina Neal), вулканолог, вулканічна обсерваторія на Алясці, Геологічна служба США;

Майкл Новачек (Michael Novacek), завідувач відділу викопних ссавців, Американський музей природознавства;

Майкл Оппенгаймер (Michael Oppenheimer), еколог, Принстонський університет;

Дін Орніш (Dean Ornish), професор клінічної медицини, Каліфорнійський університет у Сан-Франциско;

Пітер Палезе (Peter Palese), професор мікробіології, Медична школа *Гора Синай (Mt. Sinai School of Medicine)*;

Чарльз Пеллерін (Charles Pellerin), у минулому службовець НАСА;

Сідні Перковіц (Sidney Perkowitz), професор фізики в Університеті Еморі, автор книги *Голлівудська наука (Hollywood Science)*;

Джон Пайк (John Pike), директор порталу *GlobalSecurity.org*;

Джена Пінкотт (Jena Pincott), автор книги *Чи правда, що джентльмени більше люблять блондинок? (Do Gentlemen Really Prefer Blondes?)*;

Томазо Поджіо (Tomaso Poggio), фахівець зі штучного інтелекту, MIT;

Коррі Павелл (Corey Powell), головний редактор журналу *Discover*;

Джон Павелл (John Powell), засновник волонтерської організації *JP Aerospace*;

Річард Престон (Richard Preston), автор книг *Гаряча зона (The Hot Zone)* і *Демон у холодильнику (The Demon in the Freezer)*;

Раман Прінджа (Raman Prinja), професор астрофізики, Університетський Коледж Лондона;

Девід Каммен (David Quammen), науковий журналіст, автор книги *Нерішучий містер Дарвін (The Reluctant Mr. Darwin)*;

Кетрін Рамсленд (Katherine Ramsland), судовий експерт;

Лайза Рендалл (Lisa Randall), професор теоретичної фізики Гарвардського університету, автор книги *Закручені ходи (Warped Passages)*;

Сер Мартін Пік (Sir Martin Rees), професор астрофізики, Кембріджський університет, автор книги *Перед початком (Before the Beginning)*;

Джейн Ріслер (Jane Rissler), Союз небайдужих науковців (Union of Concerned Scientists);

Стівен Розенберг (Steven Rosenberg), Національний інститут раку при Національному інституті здоров'я;

Джеремі Ріфкін (Jeremy Rifkin), засновник Фонду економічних тенденцій (Foundation on Economic Trends);

Девід Рік'є (David Riquier), директор корпоративних соціальних програм, медіалабораторія MIT;

Пол Саффо (Paul Saffo), футуролог, у минулому працівник Інституту майбутнього, професор-консультант у Стенфордському університеті;

Карл Саган (Carl Sagan), нині покійний, Корнелльський університет, автор книги *Космос (Cosmos)*;

Нік Саган (Nick Sagan), співавтор книги *І це ви називаєте майбутнім? (You Call This the Future?)*;

Майкл Саламон (Michael Salamon), програма НАСА *За межами Айнштайна (Beyond Einstein)*;

Адам Севідж (Adam Savage), ведучий передачі *Руйнівники міфів (MythBusters)*;

Пітер Шварц (Peter Schwartz), футуролог, один із засновників консалтингової фірми *Global Business Network*, автор книги *Погляд удалечинь (The Long View)*;

Майкл Шермер (Michael Shermer), засновник Товариства скептиків (Skeptics Society) і журналу *Skeptic*;

Донна Ширлі (Donna Shirley), у минулому менеджер програми дослідження Марса, НАСА;

Сет Шостак (Seth Shostak), Інститут *SETI*;

Ніл Шубін (Neil Shubin), професор біології та анатомії організмів, Чиказький університет, автор книги *Внутрішня риба (Your Inner Fish)*;

Пол Шух (Paul Shuch), почесний виконавчий директор Ліги *SETI*;

Пітер Сінгер (Peter Singer), автор книги *Готовий до війни (Wired for War)*, Інститут Брукінгса;

Саймон Сінгх (Simon Singh), автор книги *Великий вибух (Big Bang)*;

Гарі Смолл (Gary Small), співавтор книги *iBrain*;

Пол Спудіс (Paul Spudis), Програма планетарної геології НАСА;

Стівен Сквайрз (Steven Squyres), професор астрономії, Корнелльський університет;

- Пол Стейнгардт (Paul Steinhardt), професор фізики, Принстонський університет, співавтор книги *Нескінченний Всесвіт* (*Endless Universe*);
- Грегорі Сток (Gregory Stock), Каліфорнійський університет у Лос-Анджелесі, автор книги *Перепроєктування людини* (*Redesigning Humans*);
- Річард Стоун (Richard Stone), автор статті *Останнє велике зіткнення з Землею* (*The Last Great Impact on Earth*), журнал *Discover*;
- Браян Салліван (Brian Sullivan), у минулому співробітник Гейденського планетарію;
- Леонард Зусскінд (Leonard Susskind), професор фізики Стенфордського університету;
- Деніел Таммет (Daniel Tammet), аутист-савант, автор книги *Народжений у нещасливий день* (*Born on a Blue Day*);
- Джеффри Тейлор (Geoffrey Taylor), фізик, Університет Мельбурна;
- Тед Тейлор (Ted Taylor), нині покійний, розробник американських ядерних боєголовок;
- Макс Тегмарк (Max Tegmark), фізик, МІТ;
- Елвін Тоффлер (Alvin Toffler), автор книги *Третя хвиля* (*The Third Wave*);
- Патрік Такер (Patrick Tucker), Товариство майбутнього світу (World Future Society);
- Стенфілд М. Тернер (Stansfield M. Turner), адмірал, у минулому Директор ЦРУ;
- Кріс Терні (Chris Turney), Ексетерський університет, Великобританія, автор книги *Лід, болото і кров* (*Ice, Mud and Blood*);
- Ніл Деграссе Тайсон (Neil deGrasse Tyson), директор Гейденського планетарію;
- Сеш Веламур (Sesh Velamoor), фонд *Foundation for the Future*;
- Роберт Воллес (Robert Wallace), співавтор книги *Корабель-шпигун* (*Spycraft*), у минулому директор Управління технічних служб ЦРУ;
- Кевін Ворік (Kevin Warwick), науковець-кібернетик, Університет Редінга, Великобританія;
- Фред Ватсон (Fred Watson), астроном, автор книги *Астроном* (*Stargazer*);
- Марк Вейзер (Mark Weiser), нині покійний, корпорація *Xerox PARC*;

Алан Вейсман (Alan Weisman), автор книги *Світ без нас* (*The World Without Us*);

Деніел Вертімер (Daniel Werthimer), проєкт *SETI@Home*, Каліфорнійський університет у Берклі;

Майк Весслер (Mike Wessler), у минулому науковий співробітник лабораторії штучного інтелекту MIT;

Артур Віггінс (Arthur Wiggins), автор книги *Радість фізики* (*The Joy of Physics*);

Ентоні Віншов-Боріс (Anthony Wynshaw-Boris), Національний інститут здоров'я;

Карл Ціммер (Carl Zimmer), науковий журналіст, автор книги *Еволюція* (*Evolution*);

Роберт Ціммерман (Robert Zimmerman), автор книги *Залишаючи Землю* (*Leaving Earth*);

Роберт Зубрін (Robert Zubrin), засновник неприбуткової організації *Марсіанське товариство* (*Mars Society*).

Імперії майбутнього будуть імперіями розуму.

– ВІНСТОН ЧЕРЧІЛЛЬ

## ВСТУП

### *Як скласти прогноз на наступні 100 років*

Коли я був дитиною, два враження допомогли мені стати таким, яким я став тепер, і породили дві пристрасті, що великою мірою визначили все моє життя.

Найперше, коли мені було вісім років, пам'ятаю, як усі вчителі жваво обговорювали свіжу новину про те, що помер якийсь видатний науковець. Того вечора в газетах надрукували фотографію його кабінету з незакінченим рукописом на столі. У заголовку було сказано, що найвидатніший науковець нашої ери не встиг завершити своєї найвидатнішої праці. Що, запитував я себе, могло бути настільки важким, що такий великий науковець не зміг цього закінчити? Що могло бути аж таким складним і важливим? Зрештою це стало для мене цікавішим за будь-який детектив, захопливішим за будь-який пригодницький роман. Я мусив дізнатися, що ж було в тому незакінченому рукописі.

Пізніше я довідався, що того науковця звали Альберт Айнштайн, а незакінчений рукопис мав стати його коронним досягненням, його спробою створити “теорію всього” – рівняння, мабуть, завдовжки лише з дюйм, яке б розкрило таємниці Всесвіту і, можливо, дало б йому змогу “прочитати думки Бога”.

Іншим моїм доленосним досвідом дитинства був перегляд телевізійних шоу вранці по суботах – особливо серіалу *Флеш Гордон* з Бастером Крабом у головній ролі. Щотижня я прикипав поглядом до екрану телевізора. Я чарами переносився у світ інопланетян, зоряних кораблів, битв із променевою зброєю, підводних міст і чудовиськ. Я потрапив на гачок. Це була моя перша зустріч зі світом майбутнього. Відтоді, роздумуючи про майбутнє, я завжди відчуваю дитячий подив.

Утім, переглянувши всі серії, я почав усвідомлювати, що хоча всі лаври дістаються Флешеві, справжній герой, від якого залежить успіх серіалу, – це науковець доктор Зарков. Це він винайшов і космічний корабель, і щит, що зробив Флеша невидимим, і джерело живлення для міста в небі, і все інше. Без науковця немає майбутнього. Краса може захоплювати уяву суспільства, але всі дивовижні винаходи майбутнього – це результат праці неоспіваних, анонімних науковців.

Уже потім у старших класах середньої школи, я вирішив піти слідами цих великих науковців і перевірити деякі свої знання дослідним методом. Я хотів бути причетним до цієї великої революції, яка, я знав, змінить світ. Я вирішив сконструювати прискорювач частинок. Попросив у матері дозволу збудувати в неї в гаражі прискорювач частинок з енергією 2,3 мільйона електрон-вольт. Мати була цим трохи заскочена, але дозволила. Тоді я купив 400 фунтів трансформаторної сталі, 22 милі мідного дроту і зібрав у мами в гаражі прискорювач-бетатрон.

Раніше я вже сконструював камеру Вілсона з потужним магнітним полем і фотографував треки антиматерії. Але фотографування антиматерії мені було недостатньо. Тепер моєю метою було створити пучок антиматерії. Магнітні котушки прискорювача частинок успішно створили потужне магнітне поле напруженістю 10 000 гауссів (приблизно в 20 000 разів сильніше за магнітне поле Землі; цього поля, в принципі, було б достатньо, щоб вирвати у вас із рук молоток). Цей пристрій споживав до шести кіловат енергії, забираючи всю електрику, яку міг згенерувати наш будинок. Часто, коли я його вмикав, усі запобіжники в будинку перегорали. (Моя бідна матір, напевно, задумувалась, чому їй не пощастило мати сина, який би натомість грав у футбол.)

Отже, ціле життя мене інтригували дві пристрасті: бажання зрозуміти всі фізичні закони Всесвіту у єдиній цілісній теорії і бажання побачити майбутнє. Зрештою я зрозумів, що ці дві пристрасті, по суті, взаємопов'язані. Ключ до розуміння майбутнього – це фунда-



ментальні закони природи, які треба застосувати до винаходів, пристроїв і методів лікування, що змінять нашу цивілізацію в близькому й далекому майбутньому.

Було вже, як я з'ясував, багато спроб передбачити майбутнє, чимало з них виявилися вдалими й корисними. Однак це були здебільшого спроби істориків, соціологів, письменників-фантастів і футурологів – тобто сторонніх спостерігачів, які передбачають світ науки, не маючи безпосереднього знання самої науки. Науковці – люди, які на ділі створюють майбутнє в лабораторіях, – надто зайняті революційними дослідженнями, щоб витратити час на написання книжок про майбутнє для широкої публіки.

Саме тому ця книжка інакша. Я сподіваюсь, що ця книжка розповість устами науковця про те, які дивовижні відкриття на нас чекають, і дасть найбільш автентичне і достовірне уявлення про світ у 2100 році.

Звісно, неможливо передбачити майбутнє абсолютно точно. Як на мене, найбільше, що можна зробити, то це спитати думку науковців на передньому краю науки, які, власне, й винаходять майбутнє. Адже це вони створюють пристрої, винаходи та методи лікування, що докорінно змінять цивілізацію. І ця книжка – це історія від них. Я мав нагоду спостерігати за науковою революцією з місця в першому ряду, беручи інтерв'ю для національного телебачення й радіо в понад 300 найвидатніших у світі науковців, мислителів і мрійників. Я приводив знімальні групи в їхні лабораторії, щоб знімати прототипи тих чудесних пристроїв, що змінять наше майбутнє. Мені випала рідкісна честь бути ведучим на численних наукових програмах на телеканалах *BBC-TV*, *Discovery* і *Science*, присвячених визначним винаходам і відкриттям провидців, що насмілюються творити майбутнє. Маючи змогу самому працювати над теорією струн і водночас цікавитися передовими дослідженнями, що докорінно змінять це сторіччя, я відчуваю, що маю одну з найбажаніших посад у науці. Моя дитяча мрія здійснилася.

Утім, ця книжка відрізняється від моїх попередніх книжок. У книжках *За межами Айнштайна*, *Гіперпростір* і *Паралельні світи* я опишував ті свіжі, революційні вітри, що віють у моїй сфері – теоретичній фізиці – і відкривають нові способи розуміння Всесвіту. У *Фізиці неможливого* я описав, як найновіші відкриття у фізиці можуть зрештою зробити реальністю навіть найнеймовірніші сюжети з наукової фантастики.

Ця книжка найбільше схожа на мою книжку *Vizii*, в якій я описав, як розвиватиметься наука в наступні кілька десятків років. Мені приємно, що багато прогнозів, зроблених у тій книжці, сьогодні здійснюються “за графіком”. Точність тієї моєї книжки великою мірою залежала від мудрості багатьох науковців, у яких я брав для неї інтерв'ю, і їхнього вміння передбачати.

Проте ця книжка охоплює значно дальше майбутнє; у ній ідеться про технології, які можуть визріти через 100 років і які врешті-решт визначатимуть долю людства. Від того, як ми приймемо виклики й використаємо можливості в наступні 100 років, залежатиме остаточний напрям руху людської раси.

## ЯК ПЕРЕДБАЧИТИ НАСТУПНЕ СТОРІЧЧЯ

Передбачити наступні кілька років, не кажучи вже про ціле сторіччя, – надскладне завдання. Втім, це завдання змушує нас задуматись про технології, які колись змінять долю людства.

У 1863 році видатний письменник Жюль Верн здійснив свій, мабуть, найамбітніший проект. Він написав пророчий роман із назвою *Париж у ХХ сторіччі*, де застосував усю силу свого надзвичайного таланту, щоб передбачити наступне сторіччя. Прикро, але рукопис загубився десь у тумані часу, аж доки правнук письменника випадково не натрапив на нього в сейфі, де той пролежав, надійно захований, майже 130 років. Зрозумівши, який скарб він знайшов, правнук опублікував рукопис у 1994 році, і той став бестселером.

У далекому 1863 році давніми імперіями все ще правили королі й імператори, а нужденні селяни тяжко працювали на полях. Сполучені Штати виснажувала руйнівна громадянська війна, що мало не роздерла країну надвоє, а паровий двигун щойно починав змінювати світ. А Жюль Верн передбачив, що 1960 року в Парижі будуть скляні хмарочоси, кондиціонери повітря, телебачення, ліфти, швидкісні поїзди, автомобілі на бензині, факсимільні апарати і навіть щось схоже на інтернет. Жюль Верн змалював життя в сучасному Парижі з дивовижною точністю.

Це не було простою випадковістю, бо вже за кілька років письменник зробив іще одне неймовірне передбачення. У 1865 році він написав роман *Із Землі на Місяць*, де передбачив у всіх деталях політ наших астронавтів на Місяць, який відбувся лише через 100 років у

1969 році. Письменник передбачив розмір космічної капсули з точністю до кількох відсотків, місцезнаходження пускового майданчика у Флориді неподалік від мису Канаверал, кількість астронавтів у капсулі, час тривання польоту, невагомість, що її відчуватимуть астронавти, і, нарешті, падіння капсули в океан. (Єдиною істотною помилкою Жуля Верна було те, що він доправив астронавтів на Місяць за допомогою гарматного пороху, а не ракетного палива. Проте ракети на рідкому паливі винайдуть лише ще через сімдесят років.)

Як Жуль Верн зміг передбачити наступні 100 років з такою неймовірною точністю? Біографи зазначають, що хоча сам Жуль Верн не був науковцем, він постійно знаходив науковців і засипав їх питаннями про майбутнє. Він зібрав величезний архів з інформацією про великі наукові відкриття свого часу. Жуль Верн краще за інших усвідомлював, що наука – це двигун, який підважує основи цивілізації і несе її в нове сторіччя з неочікуваними дивами й чудесами. Ключем до передбачень і дивовижних здогадок Жуля Верна було його розуміння сили науки, що змінює суспільство.

Іншим великим провісником технологій майбутнього був Леонардо да Вінчі, художник, мислитель і провидець. Наприкінці XV сторіччя він креслив прекрасні й точні схеми механізмів, що згодом заповонять небо: макети парашутів, гелікоптерів, дельтапланів і навіть літаків. Дивовижно: багато з його винаходів і справді могли б літати. (Однак його літальним апаратам бракувало ще одного компонента: двигуна потужністю хоча б в одну кінську силу, а той з'явився аж через 400 років.)

Не менш дивовижно й те, що Леонардо да Вінчі накреслив схему механічного арифмометра – на 150 років раніше, ніж створили його прототип. У 1967 році знайшли один загублений рукопис да Вінчі, в якому була схема арифмометра з тринадцятьма циферними коліщатами. Якщо повернути ручку, коліщата всередині оберталися по черзі, здійснюючи математичні обчислення. (Цей апарат сконструювали в 1968 році, і він функціонував.)

На додаток, у 1950-х роках знайшли ще один рукопис, де була схема воїна-автомата у німецько-італійській броні, який міг сідати й рухати руками, шиєю і щелепою. Його теж згодом сконструювали, і він теж запрацював.

Як і Жуль Верн, Леонардо міг передбачати майбутнє, тому що спілкувався з кількома прогресивно мислячими сучасниками. Він належав до тісного кола людей, що були на передньому краю інновацій. До того ж Леонардо весь час експериментував, конструював і

креслив макети – це визначальна риса всякого, хто намагається перетворити задум на дійсність.

Знаючи про неймовірні, дивовижно точні передбачення Жуля Верна і Леонардо да Вінчі, ми запитуємо: чи можливо передбачити світ у 2100 році? За традицією Верна і Леонардо, у цій книжці ретельно вивчатимуться праці провідних науковців, що створюють прототипи технологій, які змінять наше майбутнє. Ця книжка – не наукова фантастика, не витвір перегрітої уяви якогось голлівудського сценариста; вона ґрунтується на серйозних наукових дослідженнях, що проводяться сьогодні в головних лабораторіях по всьому світу.

Прототипи цих технологій уже існують. Як одного разу сказав Вільям Гібсон, автор роману *Нейромант*, який першим ужив слово *cyberspace* (*кіберпростір*): “Майбутнє вже тут. Просто воно нерівномірно розпорошене”.

Передбачити світ у 2100 році – надскладне завдання, оскільки нині ми переживаємо еру стрімкого наукового розвитку, коли темпи відкриттів весь час прискорюються. За останні кілька десятиріч накопичено більше наукового знання, ніж за всю історію людства. І до 2100 року обсяг наукового знання подвоїться ще неодноразово.

Утім, мабуть, найкращий спосіб досягнути, наскільки складно зазирнути в майбутнє на 100 років наперед, – це згадати світ у 1900 році й те, як жили наші дідуся й бабусі.

Журналіст Марк Саллівен просить нас уявити, як хтось читає газету в 1900 році:

У газеті від 1 січня 1900 року американець не натрапляв на таке слово, як “радіо”, бо радіо з’явилося лише через двадцять років; ані “кіно”, бо воно також було ще здебільшого в майбутньому; ані “шофер”, бо автомобіль на той час шойно з’явився і його називали “возом без коня”... Не було й слова “льотчик”... Фермери не чули про трактори, а банкіри – про Федеральну Резервну Систему. Торговці не чули про мережеві крамниці чи “самообслуговування”, а моряки – про двигуни на нафті... На сільських дорогах ще можна було побачити стада биків... Як тяглову силу практично всюди використовували коней або мулів... Коваль під розлогим каштаном був звичним явищем.<sup>1</sup>

Аби зрозуміти, наскільки складно передбачити наступні 100 років, ми мусимо усвідомити, як важко було людям у 1900 році передбачити світ 2000 року. У 1893 році в межах Всесвітньої виставки Колумба

в Чикаго сімдесятьох чотирьох відомих людей попросили спрогнозувати, яким буде життя в наступні 100 років. Однією з проблем було те, що люди постійно недооцінювали темпи наукового прогресу. Наприклад, багато хто слушно передбачив, що колись у нас будуть комерційні трансатлантичні повітряні апарати, але всі вважали, що це будуть повітряні кулі. Сенатор Джон Дж. Інгаллз сказав: “Для американця буде так само звично користуватися своїм керованим аеростатом, як нині екіпажем чи черевиками”.<sup>2</sup> Всі також постійно випускали з уваги появу автомобіля. Генеральний поштмейстер Джон Ванамейкер заявив, що пошту в Америці розвезитимуть поштовими каретами і кіньми навіть і через 100 років.

Таке недооцінювання науки та інновацій не минуло навіть патентного бюро. У 1899 році Чарлз Г. Дюелл, керівник Патентного бюро США, сказав: “Усе, що можна винайти, вже винайдено”.<sup>3</sup>

Іноді експерти в окремих галузях недооцінювали те, що відбувалося просто у них перед носом. У 1927 році в час німого кіно Гаррі М. Ворнер, один із засновників кіностудії *Warner Brothers*, зауважив: “Хто, в біса, захоче слухати, як актори говорять?”<sup>4</sup>

А Томас Ватсон, голова *IBM*, 1943 року заявив: “Думаю, в цілому світі є попит лише на якихось п’ять комп’ютерів”.<sup>5</sup>

Недооцінювання потужності наукових відкриттів не минуло навіть такої шанованої газети, як *New York Times*. (У 1903 році *New York Times* заявила, що летючі машини – марна трата часу; це сталося рівно за тиждень до того, як брати Райт успішно підняли в повітря свій аероплан неподалік від містечка Кітті-Гок у Північній Кароліні. У 1920 році *New York Times* розкритикувала науковця-ракетника Роберта Годдарда і назвала його працю дурницею, оскільки ракети буцімто не можуть літати у вакуумі. Щоправда, через сорок дев’ять років, коли астронавти *Аполлона-11* висадилися на Місяці, газета, до її честі, надрукувала спростовання: “Тепер уже чітко встановлено, що ракета може функціонувати у вакуумі. *New York Times* шкодує про свою колишню помилку.”)

Усе це свідчить про те, що дуже небезпечно закладатися проти майбутнього.

У передбаченнях майбутнього, за кількома винятками, завжди недооцінювались темпи технологічного прогресу. Історію – в чому ми пересвідчуємося знову й знову – пишуть оптимісти, а не песимісти. Як колись сказав президент Двайт Ейзенгауер: “Песимізм іще ніколи не виграв війни”.

Можна побачити, як навіть письменники-фантасти недооцінювали темпи наукових відкриттів. Якщо переглянути старий телесеріал із 1960-х років *Зоряний шлях*, то легко зауважити, що більшість “технологій двадцять третього сторіччя” вже існують. У 1960-х роках глядачів вражали мобільні телефони, портативні комп’ютери, пристрої, що вміли говорити, і друкарські машинки, що могли друкувати надиктоване. Втім, усі ці технології існують уже сьогодні. Незабаром у нас з’являться версії універсального перекладача, який швидко перекладатиме іншою мовою одночасно з тим, як ви говоритимете, а також “трикордери”, що діагностуватимуть хвороби на відстані. (За винятком двигуна викривлення і транспортів, більшість цих витворів науки двадцять третього сторіччя вже є.)

Отже, в минулому люди дуже помилялися, недооцінюючи майбутнє. Як же знайти твердішу наукову основу для наших передбачень?

## РОЗУМІННЯ ЗАКОНІВ ПРИРОДИ

Сьогодні ми більше не живемо в темні віки науки, коли спалахи блискавки й епідемії хвороб вважалися діянням богів. У нас є велика перевага, якої не мали Жюль Верн з Леонардо да Вінчі: чітке розуміння законів природи.

У передбаченнях завжди буде похибка, але один спосіб зробити їх максимально достовірними – це зрозуміти чотири фундаментальні сили природи, що керують цілим Усесвітом. Щоразу, як комусь вдавалося зрозуміти й описати одну з цих сил, це змінювало історію людства.

Першою пояснили силу тяжіння. Ісаак Ньютон дав нам механіку, яка пояснила, що об’єкти рухаються під дією сил, радше ніж містичних духів та метафізики. Це допомогло підготувати ґрунт для промислової революції та використання парової тяги, особливо локомотива.

Другою зрозуміли електромагнітну силу, що освітлює наші міста й живить наші електроприлади. Коли Томас Едісон, Майкл Фарадей, Джеймс Кларк Максвелл та інші допомогли пояснити електрику й магнетизм, це спричинило електронну революцію, що створила безліч наукових див. Ми пересвідчуємося в цьому щоразу, коли переривається подача струму й суспільство раптом відкидається на 100 років назад у минуле.

Третьою й четвертою зрозуміли дві ядерні сили: слабку й сильну ядерні взаємодії. Коли Айнштайн написав рівняння  $E=mc^2$  і коли

в 1930-х роках розщепили атом, науковці вперше почали розуміти сили, що освітлюють небеса. Це розкрило таємницю світіння зірок. Це не тільки відкрило нам страхітливую силу атомної зброї, а й дало сподівання, що одного дня ми зможемо опанувати цю силу на землі.

Сьогодні ми достатньо добре розуміємо ці чотири сили. Першу з них – силу тяжіння – описує Айнштайнова теорія загальної відносності. Інші три сили описано за допомогою квантової теорії, що дає нам змогу розкодувати таємниці субатомного світу.

Квантова теорія, своєю чергою, дала нам транзистор, лазер, а також інформаційну революцію – рушійну силу розвитку сучасного суспільства. Водночас за допомогою квантової теорії науковці розкрили таємниці молекули ДНК. Приголомшливий темп біотехнологічної революції – це прямий результат комп'ютерних технологій, оскільки секвенування ДНК здійснюється суто за допомогою машин, роботів та комп'ютерів.

Як наслідок, нам легше побачити, в якому напрямі розвиватимуться наука й технології в наступному сторіччі. Завжди виникатимуть якісь цілком непрогнозовані приголомшливі сюрпризи, однак основи сучасної фізики, хімії та біології вже здебільшого визначені, й ми не очікуємо якогось істотного перегляду цього знання – принаймні не в близькому майбутньому. Відтак передбачення, що сформульовані в цій книжці, – це не плід дикої уяви, а зважені припущення про те, коли саме сучасні прототипи технологій визріють остаточно.

Отже, є кілька причин вважати, що ми здатні накреслити контури світу 2100 року:

1. Ця книжка ґрунтується на інтерв'ю з понад 300 провідними науковцями, тими, що перебувають на передньому краю науки.
2. Кожне наукове досягнення, що описане в цій книжці, узгоджується з відомими законами фізики.
3. Чотири сили й фундаментальні закони природи здебільшого відомі; ми не очікуємо якихось нових істотних змін у цих законах.
4. Прототипи всіх технологій, що згадані в цій книжці, вже існують.
5. Автор цієї книжки – науковець, той, хто на власні очі бачив найновіші технології.

Безліч сторіч ми пасивно спостерігали за танцем природи. Ми тільки з німим подивом дивилися на комети, блискавки, виверження вулканів та епідемії хвороб, припускаючи, що все це перебуває поза межами нашого розуміння. Для давніх людей сили природи були вічною загадкою, якої боялися і якій поклонялися, і тому давні люди вигадали міфічних богів, аби якось пояснити світ довкола себе. Наші предки сподівалися, що якщо вони молитимуться цим богам, ті будуть милосердними і здійснять їхні найбільші бажання.

Сьогодні ми стали хореографами танцю природи й навчилися “підкоригувувати” закони природи то тут, то там. А до 2100 року ми перейдемо до статусу господарів природи.

## 2100 РІК: У РОЛІ МІФІЧНИХ БОГІВ

Якби ми сьогодні якось змогли навідатися до наших давніх предків і показати їм сучасні наукові досягнення й технології, нас би сприйняли як чарівників. Озброєні магією науки, ми могли б показати їм реактивні літаки, що злітають понад хмари, ракети, що досліджують місяць і планети, магнітно-резонансний томограф, що може зазирнути всередину живого тіла, й мобільні телефони, що можуть з’єднати нас із ким завгодно на цілій планеті. Якби ми показали їм портативні комп’ютери, що вмить пересилають рухомі зображення й повідомлення з континенту на континент, їм це здалося б лихими чарами.

Але це лише початок. Наука не стоїть на місці. Всюди довкола нас наука розвивається в геометричній прогресії. Якщо порахувати кількість наукових статей, що публікуються, то можна побачити, що весь величезний обсяг наукової інформації подвоюється приблизно щодесять років. Інновації й наукові відкриття змінюють весь економічний, політичний та соціальний ландшафт, спростовуючи старі, старанно виплекані вірування й забобони.

А тепер спробуйте уявити світ у 2100 році.

До 2100 року нам судилося стати подібними до тих богів, яким ми колись поклонялися і яких боялися. Але нашою зброєю будуть не чарівні палички чи приворотне зілля, а наука про комп’ютери, нанотехнології, штучний інтелект, біотехнології і, найголовніше, квантова теорія, що є основою попередніх технологій.



До 2100 року ми, на подобу міфічних богів, зможемо маніпулювати предметами лише силою нашого розуму. Комп'ютери, беззвучно читаючи наші думки, виконуватимуть наші бажання. Ми зможемо переміщати предмети самою думкою – здобудемо телекінетичну силу, яку зазвичай приписували лише богам. За допомогою біотехнологій ми створимо досконалі тіла й продовжимо тривалість нашого життя. Крім того, ми зможемо створити форми життя, яких на Землі ще ніколи не було. За допомогою нанотехнологій ми зможемо взяти якийсь предмет і перетворити його на щось інше, створити щось начебто майже з нічого. Ми пересуватимемося не на вогненних колісницях, а в елегантних апаратах, що легко мчатимуть у повітрі, майже не споживаючи палива. З нашими двигунами ми зможемо освоїти невичерпну енергію зірок. Ми також будемо на порозі того, щоб послати наші зор'яні кораблі досліджувати ближні зорі.

Хоч такі божественні можливості здаються неймовірно далекими, фундамент усіх цих технологій закладається навіть у цей момент. Ці можливості нам дасть сучасна наука, а не ворожба чи заклинання.

Я квантовий фізик. Щодня я “воюю” з рівняннями, що керують субатомними частинками, з яких створений Усесвіт. Світ, у якому я живу, – це всесвіт з одинадцятьовимірним гіперпростором, чорними дірами і проходами в мультивсесвіті. Однак рівняння квантової теорії, що описують вибухи зірок і Великий вибух, можуть послугувати також і для того, щоб накреслити контури нашого майбутнього.

Але куди ж ведуть усі ці технологічні зміни? Де кінцевий пункт цієї довгої подорожі в науку й технології?

Кульмінацією всіх цих змін буде формування планетарної цивілізації, яку фізики називають цивілізацією типу I. Цей перехід – мабуть, найвизначніший в історії, він знаменує різкий відхід від усіх цивілізацій минулого. Кожний заголовок, що домінує в новинах, якимось чином відображає муки народження цієї планетарної цивілізації. Комерція, торгівля, культура, мова, розваги, дозвілля, навіть війна – усе докорінно змінюється через появу планетарної цивілізації. Обчисливши весь обсяг енергії, який продукує наша планета, можемо припустити, що ми досягнемо статусу цивілізації типу I не пізніше, ніж через 100 років. Якщо тільки ми не скотимося в хаос і безумство, то перехід до планетарної цивілізації неминучий; це кінцевий продукт дії потужних, невпинних сил історії та технологій, що не підлягають нічийій владі.

## ЧОМУ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ІНОДІ НЕ СПРАВДЖУЮТЬСЯ

Проте кілька передбачень стосовно інформаційної епохи виявились абсолютно хибними. Наприклад, чимало футурологів передбачали “офіс без паперу” – тобто вони твердили, що завдяки комп’ютерам папір зовсім вийде з ужитку. Насправді ж сталося протилежне. Достатньо лише глянути на будь-який офіс, щоб побачити, що паперу там насправді більше, ніж будь коли.

Дехто також уявляв “місто без людей”. Футурологи передбачали, що телеконференції через інтернет зроблять “живі” ділові зустрічі непотрібними, відтак люди не матимуть потреби їздити в місто на роботу. Тому вулиці спустіють, міста перетворяться на міста-привиди, оскільки люди працюватимуть удома, а не в офісах.

За тією ж логікою, нам варто було очікувати збільшення кількості “кібертуристів” – лежнів, що проводять цілі дні на канапі, мандруючи світом й оглядаючи видатні місця в інтернеті на своїх комп’ютерах. Також ми мали побачити “кіберпокупців”, які, замість того, щоб ходити по крамницях самим, доручали б це комп’ютерній мишці. А ще “кіберстудентів”, які б слухали усі лекції через інтернет, а тим часом потайки грали б у відеоігри і пили б пиво. Університети в перспективі мали закритися через брак попиту на їхні послуги.

Або згадайте долю “відеотелефону”. Протягом Всесвітнього ярмарку 1964 року корпорація *AT&T* витратила близько 100 мільйонів доларів, удосконалюючи телеекран, який мав під’єднуватись до телефонної системи, щоб співрозмовники могли бачити одне одного. З цієї ідеї так нічого серйозного й не вийшло; *AT&T* продали тільки близько сотні таких телефонів, як наслідок, вартість одного телефона становила близько мільйона доларів. Це було дуже дороге фіаско.

І, нарешті, колись думали, що традиційні медії й розваги незабаром зникнуть. Деякі футурологи заявляли, що інтернет – це стихія, яка зрештою “проковтне” і живий театр, і кіно, і радіо, й телебачення – все це невдовзі можна буде побачити лише в музеях.

Насправді ж сталося протилежне. Затори на шляхах сьогодні гірші, ніж будь-коли, – характерна риса міського життя. Люди масово їздять за кордон, щоб побачити інші міста, відтак туризм став однією з найдинамічніших галузей на планеті. У крамницях повно покупців, незважаючи на важкі економічні часи. Замість поширення інтернет-

навчання, університети й далі приймають рекордні кількості студентів. Щоправда, тепер дійсно більше людей воліють працювати вдома або спілкуватися з колегами за допомогою конференц-зв'язку, але міста аж ніяк не спустіли. Натомість вони перетворились на величезні мегаполіси. Сьогодні легко вести відеорозмови через інтернет, але більшість людей не дуже хочуть, щоб їх записували, і надає перевагу зустрічам наживо. І, звичайно ж, інтернет змінив увесь медіаландшафт, а медіагіганти сушать голову над тим, як заробляти гроші в інтернеті. Але телебачення, радіо й театр живуть донині. Вогні Бродвею такі ж яскраві, як завжди.

## ПРИНЦИП ПЕЧЕРНОЇ ЛЮДИНИ

Чому ці передбачення не справилились? Припускаю, що люди відкинули ці можливості здебільшого через так званий Принцип печерної людини. Генетика і викопні рештки свідчать, що сучасні люди, які виглядали точнісінько як ми, з'явилися в Африці понад 100 000 років тому, і немає жодних доказів того, що наш мозок і природа відтоді якимось істотно змінилися. Якби взяти когось із того періоду, то з погляду анатомії ця людина була б ідентична з нами: помийте його й поголіть, одягніть у костюм-трійку і посадіть на Волл-Стріт, і зовні його не відрізниш від будь-кого іншого. Отже, ймовірно, що за 100 000 років наші бажання, мрії, природа й пристрасті сильно не змінилися. Мабуть, ми й досі думаємо дуже подібно до наших печерних предків.

Мова ось про що: щоразу, як виникає конфлікт між сучасними технологіями і прагненнями наших примітивних предків, ці примітивні прагнення завжди беруть гору. Я це називаю Принципом печерної людини. Наприклад, печерна людина завжди вимагала “доказів успішного полювання”. Ніколи не було достатньо лише похвалитися, що ви забили великого звіра. Завжди краще було тримати цього свіжовпольованого звіра в руках, аніж розповідати байки про те, як ви когось там забили. Так само ми завжди хочемо мати паперовий примірник, коли маємо справу з файлами. Ми інстинктивно не довіряємо електронам, що “бігають” на наших комп'ютерних екранах, і тому друкуємо електронну пошту й звіти, навіть коли в цьому немає потреби. Тому “офіс без паперу” так і не став реальністю.

Аналогічно, наші предки завжди любили зустрічатися наживо. Це допомагало їм налагоджувати контакт з іншими і вгадувати їхні приховані почуття. Саме тому “місто без людей” так і не з’явилося. Наприклад, начальник хоче ретельно оцінити підлеглих. Через інтернет це зробити важко, але при особистій зустрічі цей начальник може читати мову жестів і таким чином здобути цінну підсвідому інформацію. Перебуваючи поряд з іншими людьми, ми відчуваємо зв’язок із ними, а також можемо читати ледь уловиму мову жестів і здогадуватись, які думки крутяться в них у голові. Це тому, що наші мавпоподібні предки за багато тисяч років до того, як навчилися говорити, виражали думки й почуття майже виключно за допомогою мови жестів.

Ось чому кібертуризм так і не розвинувся. Одна річ – бачити Тадж-Махал на фотографії, а зовсім інша – могли похвалитися, що ви бачили його на власні очі. Так само слухати компакт-диск із записами улюбленого виконавця – не те саме, що відчути раптовий приплив адреналіну, побачивши цього виконавця наживо на концерті, серед фанфар, оплесків і шуму. Це означає, що хоча ми й зможемо завантажувати з інтернету реалістичні зображення своїх улюблених вистав чи знаменитостей, ніщо не зрівняється з реальним переглядом вистави на сцені або з присутністю на живому концерті. Фани їдуть на велику відстань заради концерту улюбленої знаменитості і фотографії з її автографом, хоча й можуть завантажити цю фотографію з інтернету безкоштовно.

Це пояснює, чому не справдився прогноз про те, що інтернет витіснить телебачення й радіо. Коли кіно й радіо з’явилися вперше, люди оплакували смерть театру. Коли з’явилося телебачення, люди передбачали зникнення кіно й радіо. Сьогодні ми маємо суміш з усіх цих засобів інформації. Із цього випливає висновок, що новий засіб інформації ніколи не знищує попередній повністю, а співіснує з ним. Натомість постійно змінюється набір цих засобів і взаємозв’язки між ними. Той, хто зможе точно передбачити, яким буде цей набір у майбутньому, має шанс розбагатіти.

Причина полягає в тому, що наші давні предки завжди хотіли побачити щось на власні очі, а не довіряти чуткам. Щоб вижити в лісі, конче треба було покладатись на реальні фізичні докази, радше ніж на чутки. Навіть і через сто років у нас буде живий театр і ми будемо гаятись за знаменитостями – такий наш спадок з далекого минулого.

До того ж ми походимо від хижаків, які полювали на інших. Тому ми любимо спостерігати за іншими і навіть годинами просиджуємо перед телевізором, безкінечно дивлячись на витівки інших людей, але миттєво нервуємо, коли відчуваємо, що хтось інший спостерігає за нами. Фактично, науковці обчислили: ми починаємо нервувати вже приблизно за чотири секунди, якщо на нас дивиться хтось незнайомий. Секунд через десять ми навіть можемо впасти в агресію через те, що нас дивляться. Саме тому відеотелефон спочатку виявився таким провальним проектом. Крім того, кому хочеться щоразу зачісуватись перед тим, як зайти в інтернет? (Сьогодні, після кількох десятків років повільного, важкого процесу вдосконалення, відеоконференції нарешті набувають популярності.)

Також, сьогодні можна навчатися дистанційно за допомогою інтернету. Однак університети переповнені студентами. Особиста зустріч з професорами, які можуть приділити персональну увагу і відповісти на персональні запитання, все ж має перевагу перед лекціями в інтернеті. Та й звичний університетський диплом усе ж важить більше при прийомі на роботу, ніж диплом про освіту, здобуту через дистанційне навчання.

Отже, відбувається постійне змагання між *High Tech* і *High Touch* – тобто між тим, щоб сидіти в кріслі перед телевізором, і тим, щоб безпосередньо доторкатися до того, що нас оточує. У цьому змаганні ми хотітимемо й першого, й другого. Саме тому в епоху кіберпростору й віртуальної реальності ми досі маємо живий театр, рок-концерти, папір і туризм. Але якщо нам запропонують на вибір безкоштовну фотографію нашого улюбленого знаменитого музиканта або квитки на його концерт, ми безумовно виберемо квитки.

Отже, це Принцип печерної людини: ми воліємо мати й те, й інше, але якщо треба вибирати, то ми вибираємо *High Touch*, як наші печерні предки.

Утім, цей принцип має один наслідок. Коли науковці тільки-но створили інтернет у 1960-х роках, усі думали, що з часом він перетвориться на своєрідний форум освіти, науки й прогресу. Натомість багато хто вжахнувся, коли незабаром інтернет деградував до стану “Дикого Заходу” без жодних обмежень, яким він залишається й досі. Насправді ж цього й варто було очікувати. Наслідком Принципу печерної людини є те, що коли ви хочете передбачити соціальні контакти людей у майбутньому, просто уявіть, якими були наші

соціальні контакти 100 000 років тому, і помножите на мільярд. Це означає, що найважливішими будуть плітки, соціальні мережі й розваги. У племені чутки були життєво необхідними, щоб швидко передавати інформацію, особливо про лідерів і тих, чию поведінку треба було наслідувати. Хто не належав до кола втаємничених, той часто не виживав, а отже, й не передавав у спадок своїх генів. Сьогодні ми спостерігаємо те саме явище в супермаркетах у вигляді величезних стендів із журналами, присвяченими пліткам про знаменитостей, а також у сучасному культурі знаменитостей. Єдина відмінність полягає в тому, що масштаб цих пліткових пліток сьогодні неймовірно зріс завдяки медіям і тепер плітки можуть за якусь частку секунди кілька разів облетіти довкола Землі.

Раптове поширення веб-сайтів із соціальними мережами, що мало не за день перетворили юних підприємців із дитячими обличчями на мільярдерів, заскочило багатьох аналітиків зненацька – але це теж вияв того самого принципу. Впродовж історії людства ті, хто мав великі соціальні мережі, могли розраховувати на ресурси, поради й допомогу від них, що було дуже важливо для виживання.

І насамкінець: розваги й надалі множитимуться неймовірними темпами. Нам іноді не хочеться в цьому зізнаватись, але основна частина нашої культури ґрунтується на розвагах. Після полювання наші предки розслаблялися й розважались. Це було важливо не тільки для налагодження стосунків, а й для зміцнення свого становища в племені. Не випадково танці й співи, що є невіддільною частиною розваг, так само необхідні у тваринному світі, щоб продемонструвати фізичну придатність протилежній статі. Коли птахи-самці виспівують прекрасні складні мелодії або ж вступають у дивовижні ритуали спарювання, це здебільшого для того, що показати протилежній статі, що вони здорові, фізично придатні, не мають на собі паразитів і що їхні гени варті того, щоб передати їх у спадок.

І мистецтво було створено не лише для насолоди – воно ще й виконувало важливу роль в еволюції нашого мозку, що сприймає більшість інформації через символи.

Тож якщо наша базова природа не зміниться на генному рівні, то можна сподіватися, що влада розваг, табloidних пліток і соціальних мереж у майбутньому тільки зростатиме, а не зменшуватиметься.

## НАУКА ЯК МЕЧ

Одного разу я побачив фільм, що назавжди змінив моє ставлення до майбутнього. Він називався *Заборонена планета* і був знятий за мотивами Шекспірової *Бурі*. У цьому фільмі астронавти натрапляють на одну давню цивілізацію, яка, в повному розквіті, випереджає нас на мільйони років. Вони досягли остаточної мети своїх технологій: безмежної влади без використання жодних допоміжних засобів, тобто влади робити майже все що завгодно лише силою розуму. Думками вони під'єднувалися до гігантських термоядерних енергетичних станцій, розташованих глибоко всередині їхньої планети, й ті перетворювали кожне їхнє бажання на дійсність. Іншими словами, вони мали владу богів.

Ми матимемо таку саму владу, але нам не доведеться чекати на це мільйони років. Нам треба почекати лише сторіччя, а зародки цього майбутнього можна побачити навіть у сучасних технологіях. Але той фільм мав також і мораль, оскільки така божественна влада зрештою знищила ту цивілізацію.

Звісно, наука – це двосічний меч: вона створює стільки ж проблем, скільки й розв'язує, але завжди на вищому рівні. Сьогодні у світі є дві протилежні тенденції: одна – це створити планетарну цивілізацію, толерантну, освічену і заможну, однак інша прославляє анархію й невігластво, що можуть розірвати тканину нашого суспільства. У нас досі залишаються ті самі сектантські, фундаменталістські, ірраціональні пристрасті наших предків, проте відмінність полягає в тому, що сьогодні ми маємо ядерну, хімічну й біологічну зброю.

У майбутньому ми перетворимося з пасивних спостерігачів за танцем природи на хореографів природи, потім на господарів і, насамкінець, на охоронців природи. Тож сподіваймося, що ми зуміємо орудувати мечем науки мудро й виважено, стримуючи варварство з нашого давнього минулого.

А тепер рушаймо в гіпотетичну подорож через наступні 100 років наукових інновацій і відкриттів, про які розповіли мені науковці, що втілюють це все в життя. У цій захопливій екскурсії ми побачимо стрімкі досягнення у сфері комп'ютерних технологій, телекомунікацій, біотехнологій, штучного інтелекту й нанотехнологій. Усе це, поза сумнівом, змінить – ні багато, ні мало – майбутнє цивілізації.

Кожен приймає межі власної уяви за межі світу.

– АРТУР ШОПЕНГАУЕР

Жодний песиміст ще ніколи не розгадав таємниці зірок, ані не плавав до незвіданої землі, ані не відкрив нового раю для людського духу.

– ГЕЛЕН КЕЛЛЕР

# 1 МАЙБУТНЄ КОМП'ЮТЕРА

## *Торжество розуму над матерією*

Я виразно пам'ятаю, як майже двадцять років тому сидів в офісі Марка Вейзера в Кремнієвій Долині і той пояснював мені, як він бачить майбутнє. Жваво жестикулюючи, Вейзер захоплено розповідав, що от-от має відбутись нова революція, яка змінить світ. Вейзер належав до комп'ютерної еліти, що працювала в *Xerox PARC* (дослідницькому центрі в Пало-Альто, де вперше було створено персональний комп'ютер, лазерний принтер, архітектуру типу *Windows* і графічний інтерфейс), але він був оригіналом, бунтарем, який розвінчував традиційні уявлення, а ще він був учасником рок-групи.

У ті далекі часи (здається, відтоді минула ціла вічність) персональні комп'ютери були новинкою, вони щойно починали проникати в життя людей, а ті повільно дозрівали до ідеї придбати великі, незграбні настільні комп'ютери, щоб працювати з електронними таблицями і трошки – з текстовим редактором. Інтернет усе ще залишався здебільшого ізольованою територією науковців на кшталт мене, що надсилали колегам рівняння, написані загадковою мовою. Точились гарячі дискусії, чи цей ящик на нашому столі, бува, не дегуманізує цивілізацію своїм холодним, суворим поглядом. Навіть політолог Вільям Ф. Баклі мусив захищати текстовий редактор



перед інтелектуалами, які нарікали на нього й відмовлялися навіть торкатись комп'ютера, називаючи його знаряддям філістерів.

Саме в цю епоху суперечностей Вейзер уперше вжив вислів “по-всюдна комп'ютеризація”. Заглядаючи в майбутнє набагато далі від персонального комп'ютера, він передбачив, що колись чіпи стануть такими дешевими і їх буде так багато, що вони будуть розкидані всюди по середовищу – вони будуть у нашому одязі, в меблях, у стінах, навіть у нашому тілі. І всі вони будуть під'єднані до інтернету й обмінюватимуться даними, роблячи наше життя приємнішим, стежачи за всіма нашими бажаннями. Хоч би куди ми пішли, чіпи вже будуть там, щоб беззвучно виконувати наші бажання. Середовище буде “живе”.

На той час мрія Вейзера здавалася дикою, навіть абсурдною. Більшість персональних комп'ютерів усе ще були дорогі і навіть не під'єднані до інтернету. Ідея, що колись мільярди чіпів стануть дешевими, як вода з крана, видавалася божевіллям.

А тоді я запитав його, чому він так упевнений, що ця революція відбудеться. Вейзер спокійно відповів, що комп'ютерна потужність зростає експоненціально, і кінця-краю цьому процесові не видно. Він мав на увазі: просто порахуй. Це лише питання часу. (Сумно, що Вейзер не дожив до цієї революції – він помер від раку 1999 року.)

Рушійною силою, на якій ґрунтувалися пророчі мрії Вейзера, є так званий закон Мура – емпіричне правило, що керує комп'ютерною індустрією ось уже понад п'ятдесят років, визначаючи темпи сучасної цивілізації, як годинник. Закон Мура просто каже, що комп'ютерна потужність подвоюється приблизно кожні вісімнадцять місяців. Уперше сформульований 1965 року Гордоном Муром, одним із засновників *Intel Corporation*, цей простий закон допоміг кардинально змінити світову економіку, згенерував нове казкове багатство і безповоротно змінив наш спосіб життя. Якщо зобразити графічно різке зниження ціни комп'ютерних чіпів і швидке вдосконалення комп'ютерів у сенсі швидкості, обчислювальної потужності й пам'яті, то утвориться дивовижно пряма лінія, що йтиме назад на п'ятдесят років. (Це зображають на логарифмічній кривій. Фактично, якщо продовжити цей графік і охопити ним технології електронних ламп і навіть механічні арифмометри з ручними приводами, то цю лінію можна продовжити більше ніж на 100 років у минуле.)

Експоненціальне зростання часто важко досягнути, оскільки наш мозок мислить лінійно. Воно настільки поступове, що іноді ви вза-

галі не відчуваєте жодних змін. Але за кілька десятиріч воно може цілковито змінити все довкола нас.

Згідно з законом Мура, кожного Різдва ваші нові комп'ютерні ігри майже вдвічі потужніші (в сенсі кількості транзисторів) за торішні. Щобільше, з роками цей поступовий приріст потужності призводить до вражаючих результатів. Наприклад, коли ви одержуєте листівку на день народження, на ній часто є чіп, який співає вам "Happy Birthday". Прикметно, що цей чіп має більше комп'ютерної потужності, ніж усі війська союзників 1945 року. Гітлер, Черчилль чи Рузвельт за цей чіп могли б вас убити. А ми що з ним робимо? Після дня народження ми викидаємо і листівку, і чіп до смітника. Сьогодні ваш мобільний телефон має більше комп'ютерної потужності, ніж усе агенство НАСА 1969 року, коли воно висадило двох астронавтів на Місяці. Відеоігри, що споживають величезний обсяг комп'ютерної потужності, щоб імітувати ситуації в трьох вимірах, використовують більше комп'ютерної потужності, ніж стаціонарні комп'ютери минулого десятиріччя. Сучасна ігрова приставка Sony PlayStation, що коштує 300 доларів, має потужність військового суперкомп'ютера 1997 року, що коштував мільйони доларів.

Відмінність між лінійним і експоненціальним зростанням комп'ютерної потужності можна побачити, якщо проаналізувати, як люди уявляли майбутнє комп'ютера 1949 року, коли журнал *Popular Mechanics* передбачив, що в майбутньому комп'ютерна потужність зростатиме лінійно, можливо, з часом подвоїться або потроїться. Було написано: "Якщо сьогодні калькулятор типу *ENIAC* оснащений 18 000 електронних ламп і важить 30 тон, то в майбутньому комп'ютери, можливо, матимуть тільки 1000 електронних ламп і важитимуть тільки 1,5 тони".<sup>1</sup>

(Матінка Природа любить геометричну прогресію. Один-єдиний вірус може атакувати людську клітину і змусити її створити кількасот копій себе самого. Розмножуючись у 100 разів у кожному поколінні, один вірус може породити 10 мільярдів вірусів лише за п'ять поколінь. Не дивно, що один-єдиний вірус може інфікувати людське тіло з трильйонами здорових клітин і спричинити застуду лише за якийсь тиждень.)

Не сама лише комп'ютерна потужність збільшилась, а й спосіб, як ця потужність використовується, теж докорінно змінився. Можна простежити за цим поступом, десятиріччя за десятиріччям:

- **1950-ті.** Лампові обчислювальні машини були гігантськими конструкціями з плутаниною дротів, котушок і сталі, що займали цілі приміщення. Тільки армія мала достатньо грошей, щоб оплачувати ці чудовиська.
- **1960-ті.** На зміну ламповим обчислювальним машинам прийшли транзистори, і стаціонарні комп'ютери поступово вийшли на комерційний ринок.
- **1970-ті.** Інтегральні мікросхеми з сотнями транзисторів створили мінікомп'ютер завбільшки з великий письмовий стіл.
- **1980-ті.** Чіпи, що вміщують десятки мільйонів транзисторів, зробили можливими персональні комп'ютери, що поміщаються в портфелі.
- **1990-ті.** Інтернет з'єднав сотні мільйонів комп'ютерів у єдину глобальну комп'ютерну мережу.
- **2000-ті.** Повсюдна комп'ютеризація вивільнила чіп із комп'ютера, і чіпи поширились по середовищу.

Отже, на зміну старій парадигмі (один-єдиний чіп усередині стаціонарного або портативного комп'ютера) приходять нова (тисячі чіпів, розміщених всередині кожного предмета – як-от меблі, побутова техніка, фотографії, стіни, автомобілі та одяг – і всі вони спілкуються один з одним, і всі під'єднані до інтернету).

Якщо ці чіпи вмістити в якийсь побутовий прилад, то цей прилад дивовижно змінюється. Коли чіпи вмістили в друкарські машинки, ті перетворились на текстові редактори. Коли чіпи вмістили в телефонний апарат, ті стали стільниковими телефонами. Коли чіпи вмістили в кінокамери, ті стали цифровими камерами. Автомати для гри в пінбол стали відеоіграми. Музичні програвачі стали айподами. Літаки стали недефективними безпілотними літальними апаратами *Predator*. Щоразу якась галузь економіки кардинально змінювалась і народжувалась наново. Зрештою майже все навколо нас стане “розумним”. Чіпи стануть такими дешевими, що коштуватимуть навіть менше за пластикову обгортку і замінять штрих-коди. Підприємства, в яких товари не стануть “розумними”, можуть опинитися поза грою – їх витіснять з ринку конкуренти, що виготовлятимуть “розумні” товари.

Звісно, нас і надалі оточуватимуть комп'ютерні екрани, але вони будуть більше схожі на шпалери, постери чи родинні фотографії, ніж на комп'ютери. Уявіть усі ті картини й фотографії, що сьогодні прикрашають наші оселі; тепер уявіть, що кожна з них ожила, заруhalася і під'єдналася до інтернету. Коли ми виходитимемо надвір,

то бачитимемо рухомі картини, оскільки рухомі картини будуть такими ж дешевими, як і статичні.

Доля комп'ютерів – подібно до інших масових технологій, таких, як електрика, папір чи система водопостачання, – стати невидимими, тобто розчинитися в тканині нашого життя, бути всюди і ніде, беззвучно й миттєво виконуючи наші бажання.

Сьогодні, заходячи в приміщення, ми автоматично шукаємо вмикач світла, оскільки припускаємо, що стіни електрифіковані. У майбутньому найперше, що ми робитимемо, зайшовши в приміщення, – це шукатимемо інтернет-портал, оскільки припускатимемо, що приміщення “розумне”. Як одного разу висловився письменник Макс Фріш: “Технологія – це талант так облаштувати світ, щоб ми навіть цього не помічали”.<sup>2</sup>

Закон Мура також дає нам змогу передбачити еволюцію комп'ютера в близькому майбутньому. У найближчі десять років чіпи поєднають із надчутливими сенсорами, так що вони зможуть виявляти хвороби, нещасні випадки й надзвичайні обставини і попереджати нас про них, доки ті не вийшли з-під контролю. Якоюсь мірою чіпи розпізнаватимуть голос і обличчя людини й розмовлятимуть формальною мовою. Вони створять цілі віртуальні світи, про які сьогодні ми можемо хіба що мріяти. Десь на 2020 рік ціна чіпа може впасти до одного цента, що дорівнює вартості паперу для чернеток. Тоді в нашому середовищі будуть мільйони чіпів і всі вони беззвучно виконуватимуть наші накази.

Урешті-решт саме слово “комп'ютер” зникне з англійської мови.

Аби окреслити майбутній поступ науки й технологій, я поділив кожний розділ на три періоди: близьке майбутнє (від сьогодні до 2030 року), середина сторіччя (від 2030 до 2070 року) і, нарешті, далеке майбутнє – від 2070 до 2100 року. Ці періоди дуже приблизні, але вони дають уявлення про часові межі різноманітних тенденцій, що описані в цій книжці.

Швидке зростання комп'ютерної потужності до 2100 року дасть нам владу міфічних богів, яким ми колись поклонялися; ми зможемо керувати світом навколо нас самою лише силою думки. Як міфічні боги, що могли пересувати предмети й змінювати життя простим помахом руки чи кивком голови, так і ми зможемо керувати навколишнім світом лише силою нашого розуму. Подумки ми постійно підтримуватимемо зв'язок із чіпами, розкиданими в середовищі, які беззвучно виконуватимуть наші накази.

Пригадую одну серію із *Зоряного шляху*, в якій екіпаж зоряного корабля *Enterprise* натрапляє на планету, де живуть грецькі боги. Перед землянами постав височенний бог Аполлон, гігант, який легко міг засліпити й приголомшити прибульців божественними трюками. Наука двадцять третього сторіччя була безсила проти бога, який правив небесами тисячі років тому в Давній Греції. Але шойно земляни оговтались від першого шоку, то зрозуміли, що там мусить бути якесь джерело енергії, тобто Аполлон просто подумки підтримує зв'язок із якимсь центральним комп'ютером і енергетичною установкою, що виконує його бажання. Як тільки земляни знайшли й знищили джерело енергії, Аполлон перетворився на звичайного смертного.

Це була лише голлівудська байка. Однак, якщо розвинути ті радикальні винаходи, що сьогодні здійснюються в лабораторіях, то, на думку науковців, одного дня ми теж зможемо керувати комп'ютерами телепатично, і це дасть нам владу згаданого шойно Аполлона.

## БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)

### ІНТЕРНЕТ-ОКУЛЯРИ І КОНТАКТНІ ЛІНЗИ

Сьогодні ми можемо з'єднуватися з інтернетом через комп'ютери й мобільні телефони. Проте в майбутньому інтернет буде всюди – в настінних екранах, на білбордах і навіть у наших окулярах і контактних лінзах. Достатньо буде моргнути – і ми вже онлайн.

Є кілька шляхів, як можна вмістити інтернет на лінзу. Зображення може передаватися з окулярів просто через кришталік ока на сітківку. Або ж зображення можна проектувати на лінзу, яка функціонуватиме як екран. Лінзу можна прикріпити до оправы окулярів, на подібну крихітної лупи ювеліра. Дивлячись в окуляри, ми бачимо інтернет, наче дивимося на кіноекран. Ми можемо маніпулювати ним за допомогою ручного пристрою, що керує інтернетом через бездротовий зв'язок. Крім того, ми можемо просто порухати пальцями в повітрі й так керувати зображенням, оскільки комп'ютер розпізнає положення пальців, коли ми ними рухаємо.

Наприклад, від 1991 року науковці в Університеті штату Вашингтон працюють над удосконаленням віртуального ретинального дис-

плея (ВРД), в якому червоне, зелене й синє світло лазера світить просто на сітківку. З кутом зору 120 градусів і роздільною здатністю 1600×1200 пікселів, дисплей ВРД може створити чудове реалістичне зображення, цілком порівнянне із зображенням на екрані в кінотеатрі. Зображення можна створити за допомогою шолома чи окулярів.

Ще в 1990-х роках я мав нагоду випробувати такі інтернет-окуляри. Це була одна з перших версій, яку створили науковці в медіалабораторії Массачусетського технологічного інституту. Вони виглядали як звичайні окуляри, за винятком того, що у правому кутку скла була прикріплена циліндрична лінза приблизно півдюйма завдовжки. Я міг дивитись крізь ці окуляри без жодних проблем. Але якщо по них постукати, то крихітна лінза падала й опинялась навпроти ока. Дивлячись у цю лінзу, я бачив цілий комп'ютерний екран – здавалося, він тільки трошки менший за стандартний екран. Цей екран був дивовижно чіткий, так начебто переді мною стояв комп'ютер. Тоді мені дали пристрій завбільшки з мобільний телефон, з кнопками. Натискаючи на кнопки, я пересував курсор по екрану і навіть друкував команди.

У 2010 році для однієї програми на каналі *Science*, де я був ведучим, я їздив на Форт Беннінг, військову базу армії США в штаті Джорджія, щоб випробувати найновішу версію *Інтернету для поля бою*, яка називалась *Land Warrior*. Я одягнув спеціальний шолом із прикріпленим збоку мініатюрним екраном. Коли я повернув цей екран і він опинився в мене перед очима, то несподівано я побачив приголомшливу картину: ціле поле бою, де хрестиками було позначено розташування своїх військ і військ противника. Дивовижно – “туман війни” розсіявся, сенсори GPS точно визначили місця перебування всіх військ, танків і будівель. Якщо натиснути кнопку, зображення швидко змінювалось, за бажанням з'являлась інформація про погоду, розташування своїх і ворожих сил, а також про стратегію й тактику.

У значно досконалішій версії інтернет просвічував би просто крізь наші контактні лінзи завдяки чіпу й рідкокристалічному дисплею, вставленим у пластик лінз. Бабак А. Парвіз і його команда в Університеті штату Вашингтон у Сіетлі створюють основу для контактних лінз з інтернетом, розробляючи прототипи, що можуть колись змінити спосіб, яким ми заходимо в інтернет. Парвіз передбачає, що ця технологія, зокрема, може допомогти діабетикам регулювати рівень глюкози. На лінзу можна миттєво вивести інформацію про стан організму. Але це тільки початок. Парвіз вважає, що

врешті-решт настане той день, коли ми зможемо завантажувати в контактну лінзу будь-який фільм, пісню, веб-сторінку чи іншу інформацію з інтернету. Ми матимемо в лінзі повну домашню систему розваг – лежатимемо собі й переглядатимемо повнометражні фільми. Крім того, за допомогою такої лінзи ми зможемо з'єднуватися з офісним комп'ютером і переглядати в ньому файли. Відпочиваючи на пляжі, ми зможемо проводити телеконференції з офісом.

Якщо вставити в ці інтернет-окуляри якесь програмне забезпечення для розпізнавання образів, то вони також розпізнаватимуть різні об'єкти і навіть деякі людські обличчя. Уже тепер деякі комп'ютерні програми вміють розпізнавати наперед запрограмовані обличчя з понад 90-відсотковою точністю. У вас перед очима може з'явитись не лише ім'я, а й біографія людини, з якою ви говорите. На зустрічах ця технологія позбавить вас неприємних ситуацій, коли ви наткнулись на когось, чие ім'я ніяк не можете згадати. Вона може також виконувати важливу функцію на коктейльних вечірках, де багато незнайомих і дехто з них дуже важливий, але ви їх не знаєте. У майбутньому ви зможете ідентифікувати незнайомих і дізнатися їхню біографію одночасно з тим, як розмовлятимете з ними. (Це щось схоже на те, як бачить світ робот у *Термінаторі*.)

Це може змінити систему освіти. У майбутньому студенти на державному іспиті зможуть безшумно шукати відповіді на запитання в інтернеті, і це, очевидно, створить проблеми для викладачів, які вимагають здебільшого запам'ятовування інформації. Це означає, що освітянам доведеться робити акцент передусім на вмінні думати й аргументувати.

В оправі ваших окулярів може бути ще й крихітна відеокамера, яка може знімати все довкола вас і завантажувати ці зображення просто в інтернет. Люди у всьому світі зможуть переживати те саме, що й ви, в реальному часі. Хоч би що ви бачили, тисячі інших зможуть бачити це також. Батьки знатимуть, що роблять їхні діти. Закохані зможуть ділитися враженнями, коли вони не разом. Присутні на концерті зможуть передавати своє захоплення фанам по всьому світу. Інспектори відвідуватимуть віддалені підприємства і передаватимуть живі зображення просто в контактні лінзи начальника. (Або ж хтось із подружжя може ходити по крамницях, а інший – радити, що варто купити.)

Парвізу вже вдалося зменшити комп'ютерний чіп до таких розмірів, що його стало можливо вмістити всередину полімерної плівки

контактної лінзи. Він з успіхом вставив світлодіод у контактну лінзу і тепер працює над лінзою з масивом світлодіодів  $8 \times 8$ . Його контактною лінзою можна керувати за допомогою бездротового зв'язку. Парвіз заявляє: “Ці компоненти зрештою міститимуть сотні світлодіодів, що створюватимуть зображення просто перед оком – слова, графіки й фотографії. Більшість матеріалів напівпрозорі – отже, люди, які носитимуть ці лінзи, зможуть нормально орієнтуватися в просторі й не натикатися на предмети довкола себе”.<sup>3</sup> Кінцева мета Парвіза, до якої ще багато років, – створити контактну лінзу на 3 600 пікселів, кожен завтовшки не більше, ніж 10 мікрометрів.

Однією з переваг контактних лінз з інтернетом є те, що вони споживають дуже мало енергії (лише кілька мільйонних вата), відтак вони дуже ефективні щодо потреб в енергії і не розряджають батарейку. Іншою перевагою є те, що око й оптичний нерв – це, в певному сенсі, пряме продовження мозку людини, отже, ми отримуємо прямий доступ до мозку без потреби імплантувати електроди. Око й оптичний нерв передають інформацію зі швидкістю, що перевищує швидкісний інтернет-зв'язок. Тому контактна лінза з інтернетом забезпечує, мабуть, найефективніший і найшвидший доступ до мозку.

Світити зображення просто в око крізь контактну лінзу – це трохи складніше, ніж окуляри з інтернетом. Світлодіод може створити точку, або піксель, світла, але треба додати ще мікролінзу, щоб сфокусувати це світло просто на сітківку. У результаті зображення ніби плаватиме за два фути від вас. У складнішій моделі, яку зараз обдумує Парвіз, використовуються мікролазери, щоб посилати надточне зображення просто на сітківку. За допомогою тієї ж технології, якою на чіпах вирізають крихітні транзистори, можна витравлювати й крихітні лазери таких самих розмірів, які будуть найменшими лазерами в світі. Лазери, що мають близько 100 атомів у розрізі, теоретично можливі з застосуванням цієї технології. Очевидно що, на чіп, завбільшки з ніготь, можна вмістити мільйони лазерів, так само, як і транзисторів.

## БЕЗПІЛОТНИЙ АВТОМОБІЛЬ

У близькому майбутньому ви також зможете безпечно мандрувати всесвітньою павутиною, їдучи в автомобілі. Доїзд до місця праці перестане бути такою пекельною повинністю як нині, тому що автомобілі їздитимуть самі. Уже сьогодні безпілотні автомобілі, що за допомогою GPS визначають своє місце перебування з точністю до



кількох футів, можуть проїхати сотні миль. Агентство перспективних оборонних дослідницьких проєктів (*DARPA*) Пентагону організувало конкурс під назвою *DARPA Grand Challenge*, у якому лабораторії запросили презентувати свої моделі безпілотних автомобілів для пробігу через пустелю Мохаве; переможець мав одержати приз – один мільйон доларів. Агентство *DARPA* залишалося вірним давній традиції – фінансувати ризиковані, однак перспективні технології.

(До проєктів Пентагону належить також інтернет, який первинно мав забезпечити зв'язок для науковців і посадовців під час і після ядерної війни, а також система GPS, яку первинно створювали для керування міжконтинентальними балістичними ракетами. Однак після закінчення холодної війни і інтернет, і GPS розсекретили і передали громадськості.)

У 2004 році цей конкурс мав невдалий початок – жодному безпілотному автомобілю так і не вдалося проїхати 150 миль по нерівній місцевості й перетнути фінішну лінію. Автомобілі-роботи або ламалися, або втрачали орієнтацію. Однак уже наступного року п'ять автомобілів подолали навіть іще складніший маршрут. Вони мали проїхати шляхами, де було 100 різких поворотів, три вузькі тунелі й ділянки з різкими обривами по обидва боки.

Дехто з критиків заявляв, що автомобілі-роботи, можливо, і їздитимуть по пустелі, але ніколи в світі – центральними вулицями міст. Тож 2007 року агентство *DARPA* оголосило навіть іще амбітніший конкурс, так званий *Urban Challenge*, у якому автомобілі-роботи мали проїхати надскладним маршрутом завдовжки 60 миль у змодельованих умовах міста швидше, ніж за шість годин. Автомобілі мусили дотримуватись усіх правил дорожнього руху, обминати на своєму шляху інші автомобілі-роботи і правильно проїжджати перехрестя. Шість команд успішно подолали цей маршрут, три найкращі одержали призи – два, один і пів мільйона доларів.

Мета Пентагону – до 2015 року зробити третину всіх сухопутних сил США автономними. Ця технологія може врятувати багато життів, оскільки останнім часом більшість людських жертв в армії США були спричинені саморобними вибуховими пристроями, які встановлюють при дорозі. У майбутньому багато військових автомобілів США їздитимуть без водіїв. Однак для пересічного споживача це може означати автомобілі, що їдуть самі після натискання кнопки, а водій може в цей час працювати, відпочивати, милуватися краєвидами, дивитися фільми чи мандрувати інтернетом.

Я мав нагоду покататися в одному з таких автомобілів для однієї телепрограми на каналі *Discovery*. Це був елегантний спортивний автомобіль, який інженери в Університеті штату Північна Кароліна модифікували так, що він став повністю автономний. Його комп'ютери мали потужність восьми ПК. Сісти в нього було для мене трохи проблематично, оскільки всередині було повно всякого приладдя. Всюди – на сидіннях і на панелі управління – були складні електронні компоненти. Узявшись за кермо, я побачив, що від нього йде спеціальний гумовий кабель, під'єднаний до маленького двигуна. Комп'ютер повертав кермо, управляючи цим двигуном.

Я повернув ключ запалювання, натиснув на акселератор і виїхав на автостраду, тоді повернув спеціальний перемикач, і керувати автомобілем почав комп'ютер. Я відпустив кермо, й автомобіль поїхав сам. Я повністю довіряв йому; комп'ютер постійно підкориговував кермо через гумовий кабель. Спочатку було трохи моторошно бачити, як кермо й педаль швидкості рухаються самі. Здавалося, що автомобілем керує невидимий водій-привид, але за якийсь час я до цього звик. Насправді пізніше мені навіть сподобалось відпочивати в автомобілі, що керував сам із надлюдською точністю і вмінням. Я відкинувся на спинку сидіння й насолоджувався їздою.

Серцем безпілотного автомобіля була система GPS, за допомогою якої комп'ютер визначав його місце перебування з точністю до кількох футів. (Інженери сказали мені, що іноді система GPS може визначити місце автомобіля з точністю до кількох дюймів.) Сама по собі система GPS – це диво сучасних технологій. Кожний з тридцяти двох супутників GPS, що обертаються довкола Землі, випромінює конкретну радіохвилю, яку потім уловлюють GPS-приймачі в моєму авті. Сигнал від кожного супутника трошки спотворений, оскільки вони перебувають на неоднакових орбітах. Це спотворення називають доплерівським зсувом. (Приміром, радіохвилі стискаються, якщо супутник рухається в напрямку до вас, і розтягуються, коли він рухається від вас.) Проаналізувавши легкі спотворення частот від трьох чи чотирьох супутників, комп'ютер в автомобілі може точно визначити моє місце перебування.

Крім того, в крилах автомобіля був радар, щоб авто могло відчувати перешкоди. У майбутньому це матиме величезне значення, оскільки кожний автомобіль автоматично вживатиме термінових заходів, як тільки вловить загрозу аварії. Сьогодні в Сполучених Штатах майже 40 000 людей щорічно гинуть в автокатастрофах.

У майбутньому слово “автокатастрофа” може поступово зникнути з англійської мови.

Затори на шляхах також можуть залишитися в минулому. Один центральний комп'ютер відстежуватиме рух кожного автомобіля на шляху, підтримуючи зв'язок із кожним безпілотним автотранспортом. Тоді він легко виявить затори й “корки” на автомагістралях. В одному експерименті, який проводили північніше від Сан-Дієго на федеральній автостраді № 15, у дорожнє покриття вставили чіпи, і автомобілями на цій дорозі почав керувати комп'ютер. Якщо утворюється затор, комп'ютер керує замість водія, і затор “розсмоктується”.

Автомобіль майбутнього виявлятиме й інші небезпеки. Тисячі людей загинули або постраждали в автокатастрофах через те, що водій заснув, особливо вночі або під час довгої монотонної подорожі. Сьогодні комп'ютери можуть стежити за вашими очима й розпізнавати очевидні ознаки сонливості. Комп'ютер запрограмований так, щоб у таких випадках подати сигнал і розбудити вас. Якщо ж ви не прокинетесь, то комп'ютер перейме керування автотранспортом на себе. Крім того, комп'ютери вміють визначати наявність в автомобілі надмірної кількості алкоголю, і це може відвернути тисячі смертей через зловживання алкоголем, що трапляються щороку.

Перехід до “розумних” автомобілів не відбудеться миттєво. Спочатку такі транспортні засоби апробує армія й виправить у цьому процесі всі можливі недоліки. Тоді автомобілі-роботи з'являться на ринку і спочатку їздитимуть тільки на довгих нудних відрізках федеральних автострад. Потім вони з'являться у передмістях і великих містах, але водій завжди матиме змогу перебрати керування на себе у якійсь надзвичайній ситуації. І врешті-решт ми колись дивуватимемося, як узагалі могли обходитись без них.

## ЕКРАНИ НА ЧОТИРИ СТІНИ

Комп'ютери не тільки полегшать доїзд на роботу і зменшать кількість автомобільних аварій, а й допоможуть нам знаходити друзів і знайомих. У минулому дехто нарікав, що комп'ютерна революція нас дегуманізувала й ізолювала одне від одного. Насправді ж вона дала нам змогу експоненціально розширити коло друзів і знайомих. Коли вам буде самотньо або ви потребуватимете товариства, то просто попросите свій настінний екран організувати вам партію в бридж з інши-

ми самотніми людьми у будь-якій точці світу. Коли вам буде потрібна допомога у плануванні відпустки, організації подорожі чи в пошуку партнера, ви зможете зробити це через свій настінний екран.

У майбутньому на вашому настінному екрані може спочатку з'являтися дружнє обличчя (ви зможете його підкоригувати відповідно до своїх смаків). Ви попросите свого віртуального помічника спланувати для вас відпустку. Він уже знатиме ваші вподобання і підшукає вам в інтернеті найкращі можливі варіанти за найнижчими цінами.

Родинні зібрання теж можуть відбуватися через настінний екран. Усі чотири стіни вашої вітальні матимуть настінні екрани, тож ви будете оточені зображеннями родичів, що живуть далеко від вас. У майбутньому, можливо, хтось із родичів не зможе навідувати вас через поважну причину. Натомість родина може зібратись довкола настінного екрану і святкувати зустріч – напівреальну, напіввіртуальну. Або ж крізь свою контактну лінзу ви зможете бачити образи всіх ваших рідних, так начебто вони справді були з вами, хоч насправді вони за тисячі миль. (Дехто з коментаторів зауважив, що інтернет первинно задумувався Пентагоном як “чоловічий” пристрій, тобто він був потрібний, щоб забезпечити перевагу над противником у час війни. Однак тепер інтернет здебільшого “жіночий” – у тому сенсі, що він допомагає налагоджувати зв'язки й підтримувати контакт з іншими.)

На зміну телеконференціям прийде “телеприсутність” – у ваших окулярах чи контактних лінзах з'являтимуться повністю тривимірні зображення тієї чи іншої людини. Наприклад, на зустрічі всі сидітимуть за столом, окрім кількох учасників, які будуть тільки у вашій лінзі. Без лінзи ви бачитимете, що деякі стільці за столом порожні. З лінзою ви бачитимете зображення всіх учасників зустрічі на своїх стільцях, так начебто вони там. (Це означає, що всіх учасників знімає спеціальна відеокамера за аналогічним столом, а тоді їхні зображення будуть пересилатися через інтернет.)

Глядачів фільму *Зоряні війни* колись вражали тривимірні зображення людей, що з'являлися в повітрі. Проте за допомогою комп'ютерних технологій ми зможемо в майбутньому бачити ці тривимірні зображення в контактній лінзі, в окулярах і на настінних екранах.

Спочатку це може видаватися трохи дивним – говорити до порожньої кімнати. Але згадайте: коли щойно з'явився телефон, дехто його критикував, заявляючи, що люди розмовлятимуть із безтілесними голосами. Критики бідкалися, що телефон поступово витіснить безпосереднє живе спілкування між людьми. Ці критики мали рацію, але

сьогодні ми не проти розмовляти з безтілесними голосами, бо це істотно розширило наше коло знайомств і збагатило наше життя.

Це може також змінити ваше особисте життя. Якщо ви самотні, ваш настінний екран знатиме ваші минулі смаки і фізичні й соціальні риси вашого бажаного партнера, і пошукає в інтернеті відповідний варіант. І оскільки люди іноді подають у своїх профілях неправдиву інформацію, то, з міркувань безпеки, ваш екран автоматично перевірить історію кожного з кандидатів, щоб виявити можливу брехню в їхніх біографіях.

## ГНУЧКИЙ ЕЛЕКТРОННИЙ ПАПІР

Ціна телевізорів із плоскими екранами, що колись становила 10 000 доларів США, зменшилась приблизно в п'ятдесят разів лише за якісь десять років. У майбутньому плоскі екрани, що покривають цілу стіну, також різко подешевшають. Ці настінні екрани будуть гнучкі й надтонкі, виготовлені з органічних світлодіодів. Органічні світлодіоди схожі на звичайні, за винятком того, що вони мають за основу органічні сполуки, які можна з'єднати в полімери, і тому вони гнучкі. Кожний піксель на такому гнучкому екрані з'єднаний із транзистором, що регулює колір та інтенсивність світла.

Уже сьогодні науковці з Центру гнучких дисплеїв в Університеті штату Арізона спільно з компанією *Hewlett-Packard* і армією США працюють над удосконаленням цієї технології. Пізніше ринкові сили знизять її вартість і зроблять її доступною для широкого кола клієнтів. Ціни знижуватимуться, і зрештою вартість цих настінних екранів може наблизитись до ціни звичайних шпалер. Тож у майбутньому, наклеюючи шпалери, ми зможемо одночасно наклеювати настінні екрани. Коли ми схочемо змінити візерунок на шпалерах, то просто натиснемо кнопку. Змінити декорації буде легко.

Ця технологія гнучких екранів може також змінити наші портативні комп'ютери. Нам не доведеться тягати за собою важкі лептопи. Лептоп може перетворитися на простий аркуш з органічних світлодіодів, який можна згорнути і сховати в гаманець. Мобільний телефон може містити гнучкий екран, що витягується, як сувій. Тоді замість того, щоб набирати текст на крихітному екрані мобільного телефону, ви зможете витягнути гнучкий екран яких завгодно розмірів.

Завдяки цій технології також можуть з'явитися комп'ютерні екрани, що будуть повністю прозорі. У майбутньому зможе відбу-

ватись таке: ми дивитимемося у вікно, тоді помахавемо руками – і раптом вікно перетвориться на екран комп'ютера. Або на будь-яке зображення на наш вибір. Ми зможемо дивитись у вікно й бачити краєвид за тисячі миль від нас.

Сьогодні ми користуємось чернетками, на яких щось записуємо, а тоді викидаємо їх у сміття. В майбутньому у нас можуть з'явитися “чернеткові комп'ютери”, що не матимуть жодного конкретного призначення. Ми на них щось писатимемо, а тоді викидатимемо їх. Сьогодні ми облаштовуємо свій робочий стіл та інші меблі, зважаючи на комп'ютер, який займає в офісі чільне місце. У майбутньому настільний комп'ютер може взагалі зникнути, а файли пересуватимуться разом із нами, коли ми переходитимемо з місця на місце, з приміщення в приміщення або з офісу додому. Це дасть нам постійний доступ до інформації – будь-коли, будь-де. Сьогодні в аеропортах можна побачити сотні пасажирів з лептопами. У готелі вони мусять під'єднатись до інтернету, а коли повернуться додому – перенести файли в стаціонарний комп'ютер. У майбутньому вам не доведеться тягати комп'ютер із собою, оскільки все навколо вас – стіни, картини й меблі – зможе під'єднати вас до інтернету, навіть якщо ви в поїзді чи в автомобілі. (Сучасний приклад цього – “хмарні обчислення”, коли вам виставляють рахунки не за комп'ютери, а за комп'ютерний час, при тому обчислювальні потужності розглядають як комунальну послугу, яка вимірюється лічильником, як вода чи електрика.)

## ВІРТУАЛЬНІ СВІТИ

Мета повсюдної комп'ютеризації – вселити комп'ютер у наш світ: умістити чіпи всюди. Призначення віртуальної реальності протилежне: ввести нас у світ комп'ютера. Вперше віртуальну реальність запровадили військові у 1960-х роках як спосіб навчання пілотів і солдатів за допомогою імітації. Пілоти тренувалися приземлятися на палубу авіаносця, дивлячись на екран комп'ютера й рухаючи джойстиком. У випадку ядерної війни генерали й політики, перебуваючи на великій віддалі одне від одного, могли б таємно зустрічатися в кіберпросторі.

Сьогодні, коли комп'ютерна потужність зростає в геометричній прогресії, можна жити в імітованому світі й керувати в ньому аватаром (рухомих зображенням, що уособлює вас). Ви можете зустріти

інших аватарів, досліджувати уявні світи і навіть закохатися й одружитись. Крім того, ви можете купувати віртуальні товари за віртуальні гроші, які потім можна конвертувати у справжні гроші. На одному з найпопулярніших сайтів – *Second Life* – 2009 року було зареєстровано 16 мільйонів рахунків. Того року через сайт *Second Life* кілька людей заробили понад мільйон доларів США. (Утім, весь одержаний прибуток оподатковується урядом США, який трактує його як реальний прибуток.) Віртуальна реальність – це вже тепер основний елемент відеоігор. У майбутньому з подальшим зростанням комп'ютерної потужності ми також зможемо за допомогою спеціальних окулярів чи настінного екрану відвідати нереальні світи. Приміром, якщо вам хочеться піти по крамницях чи побувати в якомусь екзотичному місці, то ви зможете спочатку зробити це через віртуальну реальність, пересуваючись комп'ютерним екраном, наче ви й справді вже там. Таким способом ви зможете ходити по поверхні Місяця, проводити відпустку на Марсі, ходити по крамницях у далеких країнах, відвідувати музеї й самостійно вирішувати, де вам іще хочеться побувати.

Ви також зможете, якоюсь мірою, відчувати на дотик об'єкти в цьому кіберсвіті. Це називають “тактильною технологією”, яка дає змогу відчувати присутність об'єктів, що їх генерує комп'ютер. Уперше цю технологію розробили науковці, яким доводилося маніпулювати високорадіоактивними матеріалами за допомогою роботи-руки, а також військові, які хотіли, щоб пілоти в імітованому польоті відчували опір джойстика.

Аби зімітувати відчуття дотику, науковці створили спеціальний пристрій, під'єднаний до пружин і передач, так що коли ви натискаєте пальцями на цей пристрій, він чинить опір, імітуючи відчуття тиску. Якщо ви, наприклад, водите пальцями по столу, то цей пристрій може імітувати відчуття твердої дерев'яної поверхні. Таким способом ви можете відчувати присутність предметів, які бачите в спеціальних окулярах з віртуальною реальністю, що довершує ілюзію, начебто ви перебуваєте деінде.

Аби створити відчуття текстури, існує інший пристрій, де ви проводите пальцями по поверхні, що складається з тисяч крихітних шпильок. Висоту кожної шпильки регулює комп'ютер, який може таким чином зімітувати текстуру твердих поверхонь, м'якої тканини чи жорсткого наждачного паперу. Можливо, що в майбутньому за допомогою спеціальних рукавиць можна буде створити реалістичне відчуття дотику до найрізноманітніших предметів і поверхонь.

Це матиме велике значення для навчання хірургів майбутнього, оскільки хірург мусить мати змогу відчувати тиск тканин, виконуючи складні операції, а пацієнт може бути тривимірним голографічним зображенням. З іншого боку, це трохи наблизить нас до технології голодеку із серіалу *Зоряний шлях*, де ви перебуваєте у віртуальному світі й можете торкатися віртуальних предметів. Пересуваючись порожньою кімнатою, ви бачите в окулярах чи контактних лінзах неіснуючі предмети. Якщо ви простягаєте руку, щоб їх схопити, з підлоги піднімається тактильний пристрій й імітує конкретний предмет.

Я мав нагоду побачити ці технології на власні очі, коли відвідував камеру автоматичного віртуального середовища в Університеті Ровена в Нью-Джерсі для телеканалу *Science*. Я зайшов у порожню кімнату, де кожна з чотирьох стін була освітлена проектором. На стіни можна було проектувати тривимірні зображення, створюючи у відвідувача ілюзію, що він переноситься в інший світ. В одній версії мене оточили величезні люті динозаври. Рухаючись джойстиком, я зміг покататися в тиранозавра на спині й навіть залізти до нього в пащу. Тоді я побував на Абердінському випробувальному полігоні в штаті Меріленд, де армія США створила найсучаснішу версію голодеку. У шоломі і в ранці в мене були сенсори, отже комп'ютер знав точне місце розташування мого тіла. Тоді я став на різноспрямовану бігову доріжку – удосконалену версію бігової доріжки, на якій ви можете йти в будь-якому напрямку, залишаючись на тому самому місці. Раптом я опинився на полі болю й мусив ухилитися від куль ворожих снайперів. Я міг бігти в будь-якому напрямку, сховатися в будь-якому провулку, мчати будь-якою вулицею, і тривимірні зображення на екрані миттєво змінювались. Я міг навіть простягнутися на підлозі, й екрани мінялися відповідно. Я уявив, що в майбутньому ми зможемо пережити цілковите занурення у віртуальну реальність – вести повітряні бої з інопланетними космічними кораблями, втікати від розлючених чудовиськ чи пустувати на якомусь безлюдному острові, – і все це відбуватиметься в комфортних умовах нашої власної вітальні.

## МЕДИЦИНА В БЛИЗЬКОМУ МАЙБУТНЬОМУ

Звичайний візит до лікаря відбуватиметься зовсім інакше. У випадку рутинного огляду, коли ви розмовлятимете з “лікарем”, то це, ймовірно, буде програма-робот, що з'являтиметься на вашому на-



стінному екрані й правильно діагностуватиме до 95 відсотків усіх звичних недуг. Ваш “лікар” може виглядати як людина, але насправді це буде лише рухоме зображення, запрограмоване так, щоб ставити конкретні прості запитання. Ваш “лікар” також матиме повну інформацію про ваші гени й рекомендуватиме вам лікувальні процедури з урахуванням усіх ваших генетичних факторів ризику.

Аби діагностувати хворобу, “лікар” попросить вас провести над своїм тілом одним простим зондом. Глядачів телесеріалу *Зоряний шлях* вражав пристрій із назвою трикодер, що міг миттєво діагностувати будь-яку хворобу й зазирнути всередину людського тіла. Але на цей футуристичний пристрій не треба чекати аж до двадцять третього сторіччя. Уже тепер магнітно-резонансні томографи, що колись важили кілька тон і займали ціле приміщення, вдалося зменшити до одного фута, і врешті-решт вони стануть не більшими за мобільний телефон. Проводячи таким зондом над своїм тілом, ви зможете побачити внутрішні органи. Комп'ютери опрацюють ці тривимірні зображення й визначать ваш діагноз. Цей зонд також за лічені хвилини виявлятиме багато різноманітних хвороб, у тому числі рак – за багато років до утворення пухлини. Такий зонд міститиме так звані ДНК-чіпи (кремнієві чіпи з мільйонами крихітних сенсорів, що можуть виявляти ДНК багатьох хвороб).

Звісно, багато з нас ненавидять ходити до лікаря. Однак у майбутньому стан вашого здоров'я буде легко й беззвучно контролюватися кілька разів на день, так що ви навіть про це й не знатимете. У вашому туалеті, у дзеркалі в ванній кімнаті і в одязі будуть ДНК-чіпи, які перевірятимуть, чи не з'явилися у вашому тілі ракові колонії лише з кількох сотень клітин. У вашій ванній кімнаті та в одязі буде більше сенсорів, ніж є в сучасній лікарні чи в університеті. Наприклад, просто дмухнувши на дзеркало, можна виявити ДНК мутованого білка *TP53*, що є причиною 50 відсотків усіх найтипівіших видів раку. Це означає, що слово *tumor* (пухлина) поступово зникне з англійської мови.

Сьогодні, якщо ви потрапили в автокатастрофу на якійсь безлюдній дорозі, то ви легко можете стекти кров'ю і вмерти. Проте в майбутньому ваш одяг і автомобіль при перших ознаках травм автоматично почнуть діяти – викличуть швидку, повідомлять місце перебування вашого авта, передадуть усю вашу медичну історію – і все це тоді, як ви будете непритомні. У майбутньому буде складно померти на самоті. За допомогою крихітних чіпів, вплетених у тканину, ваш одяг зможе визначити будь-які порушення у вашому

серцебитті, диханні і навіть у нейронних коливаннях. Одягаючись, ви заходитимете в інтернет.

Сьогодні науковці вже вміють умішати чіп з телевізійною камерою і радіо в таблетку завбільшки приблизно як аспірин. Якщо ковтнути таку “розумну таблетку”, то вона фотографуватиме ваш стравохід і кишківник і передаватиме відповідні радіосигнали до якогось приймача, розташованого поблизу. (Це надає нового змісту відомому логотипу “*Intel inside*”.) Таким способом лікарі, ймовірно, зможуть фотографувати кишківник пацієнта і виявляти рак навіть без колоноскопії (яка передбачає певну незручність – уведення в товстий кишківник шлангу завдовжки шість футів). Мікроскопічні пристрої такого типу з часом також зменшать потребу розрізати шкіру для хірургічних операцій.

Це тільки один приклад того, як комп’ютерна революція вплине на наше здоров’я. Ми розглянемо революцію в медицині значно докладніше у третьому й четвертому розділах, де також поговоримо про генну терапію, клонування й зміну тривалості людського життя.

## ЖИТТЯ В КАЗЦІ

Через те, що комп’ютерний інтелект буде такий дешевий і настільки поширений у середовищі, деякі футурологи припустили, що майбутнє може бути в якомусь сенсі схожим на казку. Якщо ми матимемо владу богів, то небеса, де ми перебуватимемо, можуть скидатися на якийсь фантастичний світ. Приміром, майбутнє інтернету – стати чарівним дзеркалом Білосніжки. Ми казатимемо: “Люстро, люстро на стіні” – і з’являтиметься привітне обличчя, що даватиме нам доступ до мудрості всієї планети. Ми вставлятимемо чіпи в наші іграшки, і ті ставатимуть “розумними”, як Піноккіо – лялька, що хотіла стати справжнім хлопчиком. Як Покахонтас, ми розмовлятимемо з вітром і з деревами, і вони нам відповідатимуть. Ми вважаємо, що предмети розумні і що ми можемо до них говорити.

Оскільки комп’ютери будуть здатні визначити багато генів, що відповідають за наш процес старіння, то, можливо, ми будемо вічно молодими, як Пітер Пен. Ми зможемо сповільнити – а то й повернути назад – процес старіння, як ті хлопці з Неверленду, що не хотіли ставати дорослими. Доповнена реальність створить нам ілюзію, що ми можемо, як Попелюшка, їздити у королівській кареті на

фантастичні бали й граційно танцювати з вродливим принцом. (Однак опівночі наші окуляри для доповненої реальності вимкнуться й ми повернемося в реальний світ.) Оскільки комп'ютери виявляють гени, що керують нашими тілами, ми зможемо перепроєктувати свої тіла, замінити органи й змінити зовнішність – навіть на генному рівні, як чудовисько в казці *Красуня і чудовисько*.

Дехто з футурологів навіть висловив побоювання, що це може призвести до повернення містицизму Середніх віків, коли більшість людей вірили, що в усьому навколо них живуть невидимі духи.

## СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)

### КІНЕЦЬ ЗАКОНУ МУРА

Ми мусимо запитати себе: Як довго може тривати ця комп'ютерна революція? Якщо закон Мура діятиме ще п'ятдесят років, то можна припустити, що комп'ютери швидко перевершать обчислювальну потужність людського мозку. До середини сторіччя з'явиться нова динаміка. Як сказав одного разу Джордж Гаррісон, "усе минає". Навіть закон Мура мусить відійти в минуле, а з ним і приголомшливе збільшення комп'ютерної потужності, що підштовхувало економічне зростання впродовж минулих півсторіччя.

Сьогодні ми приймаємо за належне, навіть вважаємо своїм природним правом те, що наші комп'ютери стають дедалі потужніші й складніші. Саме тому ми щороку купуємо нові комп'ютерні виробы, знаючи, що вони майже вдвічі потужніші за торішні моделі. Але якщо закон Мура "загнеться" – і кожне покоління комп'ютерів матиме приблизно таку саму потужність і швидкість, як і попереднє покоління, – то навіщо ми будемо купувати нові комп'ютери?

Оскільки чіпи містяться в багатьох різноманітних продуктах, це може мати катастрофічні наслідки для всієї економіки. Цілі галузі тупцюватимуть на місці, мільйони людей втратять роботу, і в економіці може настати хаос.

Коли кілька років тому ми, фізики, говорили про неминучий кінець закону Мура, представники комп'ютерної галузі нас зазвичай не сприймали всерйоз, думаючи, що ми лише дурно б'ємо на сполох.

Кінець закону Мура пророкували вже стільки разів, казали вони, що вони просто в це не вірять.

Але тепер усе змінилося.

Два роки тому я виступав на одній серйозній конференції, яку проводила компанія *Microsoft* у своєму головному офісі в Сієтлі, штат Вашингтон. Три тисячі провідних інженерів *Microsoft* сиділи в залі й чекали, що я казатиму про майбутнє комп'ютерів і телекомунікацій. Вдивляючись у цю величезну аудиторію, я бачив обличчя молодих завзятих інженерів, що створюватимуть програми, які працюватимуть на наших комп'ютерах. Я висловився про закон Мура чітко і ясно – сказав, що комп'ютерна галузь мусить приготуватися до його краху. Десять років тому я міг почути у відповідь сміх або й кпини. Однак цього разу я тільки бачив, як люди кивали головами.

Отже, кінець закону Мура – це справа міжнародної ваги, на карту поставлено трильйони доларів. Але те, як саме він закінчиться і що прийде йому на зміну, залежить від законів фізики. Відповіді на ці наукові питання рано чи пізно потрясуть економічну будову капіталізму.

Аби зрозуміти цю ситуацію, важливо усвідомити, що дивовижний успіх комп'ютерної революції ґрунтується на кількох принципах фізики. По-перше, комп'ютери мають приголомшливу швидкість, бо електричні сигнали рухаються приблизно зі швидкістю світла, що є максимально можливою швидкістю у Всесвіті. За одну секунду промінь світла може облетіти довкола Землі сім разів або ж досягти Місяця. Крім того, електрони легко переміщуються і легко відриваються від атома (їх можна відірвати, якщо просто розчісувати волосся, ходити по килиму чи прати білизну – саме тому існує статична електрика). Достатньо слабкий зв'язок електронів з атомом у поєднанні з їхньою величезною швидкістю руху дає нам змогу посылати електричні сигнали з приголомшливою швидкістю, і це спричинило електричну революцію минулого сторіччя.

По-друге, на лазерному промені можна вмістити практично необмежений обсяг інформації. Хвилі світла – оскільки вони коливаються набагато швидше за звукові хвилі – можуть переносити значно більше інформації, ніж звук. (Наприклад, уявіть, що буде, якщо розтягнути довгу мотузку і почати швидко трясти один її кінець. Чим швидше вібруватиме один кінець мотузки, тим більше сигналів ви зможете передати на другий кінець. Відтак обсяг інформації, який можна вмістити в хвилю, збільшується водночас зі збільшенням швидкості коливання, тобто зі збільшенням її частоти.) Світло – це

хвиля, що осцилює зі швидкістю приблизно  $10^{14}$  циклів за секунду (це одиниця з чотирнадцятьма нулями). Аби передати один біт інформації (1 або 0), потрібно багато циклів. Це означає, що волоконно-оптичний кабель може переносити приблизно  $10^{11}$  бітів інформації лише на одній частоті. І цю кількість можна збільшити, якщо вмістити багато сигналів в одне оптичне волокно, а тоді скрутити ці волокна у кабель. Це означає, що збільшуючи кількість каналів у кабелі, а тоді збільшуючи кількість кабелів, можна передавати інформацію майже без обмежень.

По-третє, – і це найважливіше – комп'ютерна революція відбувається завдяки мініатюризації транзисторів. Транзистор – це такі собі двері, або перемикач, що регулює потік електрики. Якщо електричну мережу порівняти з водопровідною системою, то транзистор – це клапан, що регулює потік води. Так само, як простим поворотом клапана можна затримати або пустити величезний обсяг води, так само транзистор дозволяє крихітному потоку електрики регулювати значно більший потік, таким чином збільшуючи його потужність.

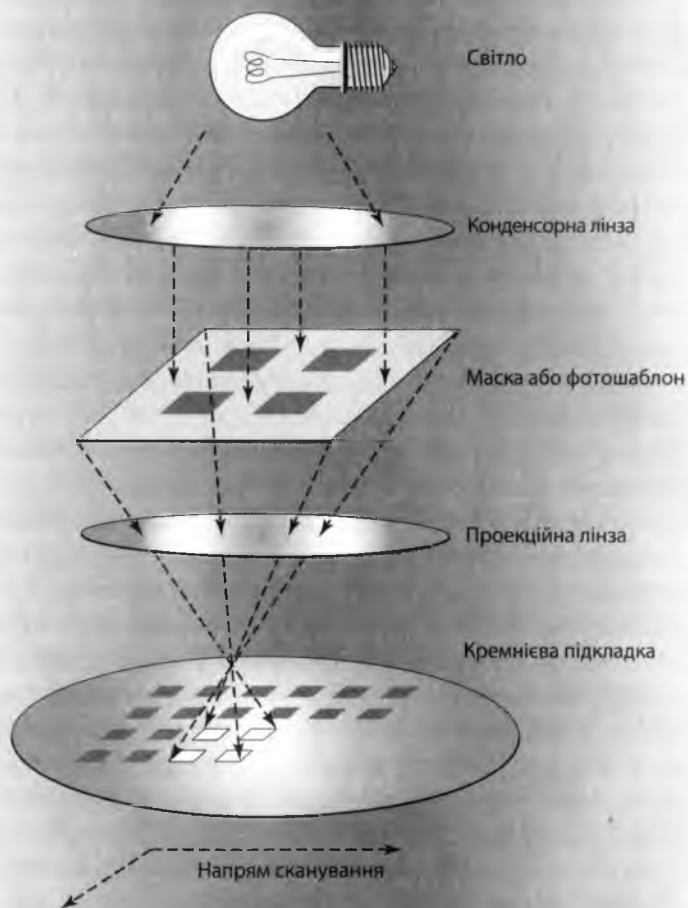
У центрі цієї революції – комп'ютерний чіп, що може містити сотні мільйонів транзисторів на кремнієвій підкладці завбільшки з ніготь. Усередині вашого ноутбука є чіп, на якому транзистори можна розглядати тільки крізь мікроскоп. Ці неймовірно крихітні транзистори виготовляють за тим самим принципом, що й малюнки на футболках.

Футболки розфарбовують автоматично: спочатку створюють трафарет із контурами потрібного малюнка. Тоді цей трафарет кладуть на тканину й обприскують її фарбою. Фарба потрапляє на тканину тільки в тих місцях, де на трафареті є прорізи. Трафарет забирають, і на футболці залишається досконала копія відповідного малюнка.

При виготовленні чіпів так само створюють трафарет зі складними контурами мільйонів транзисторів. Його кладуть на підкладку, яка містить багато шарів кремнію, що чутливий до світла. Тоді на трафарет спрямовують ультрафіолетове світло, що проникає крізь прорізи в трафареті і діє на підкладку.

Тоді цю підкладку занурюють у кислоту, яка прорізає контури схеми, створюючи складний візерунок з мільйонів транзисторів. Оскільки підкладка складається з багатьох шарів провідника й напівпровідника, кислота в'їдається у підкладку на різну глибину і за різними візерунками, тож так можна створити схеми надзвичайної складності.

Одна причина, чому закон Мура незмінно збільшував потужність чіпів, – це те, що хвилі ультрафіолетового світла можна змінювати



Кінець закону Мура. Чіпи виготовляють за тим самим принципом, що й малюнки на футболках. Замість фарби, якою обприскують тканину з трафаретом, на трафарет спрямовують ультрафіолетове світло, що випалює візерунок на шарах кремнію. Тоді цей візерунок прорізають кислотою, створюючи сотні мільйонів транзисторів. Але цей процес не зможе продовжуватися, коли ми дійдемо до атомного рівня. Чи стане Кремнієва Долина "поясом іржі"?

Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)

так, що довжина хвилі стає щораз меншою, і це дає змогу прорізати на кремнієвих підкладках дедалі менші транзистори. Оскільки довжина хвилі ультрафіолетового світла – лише 10 нанометрів (нанометр – це одна мільярдна метра), це означає, що найменший транзистор, який тільки можливо вирізати, має ширину близько тридцяти атомів.

Однак цей процес не може тривати вічно. У якийсь момент стане фізично неможливо вирізати таким способом транзистори розміром з атоми. Можна навіть приблизно обчислити, коли закон Мура остаточно перестане діяти: коли ми дійдемо до транзисторів завдовжки в кілька атомів.

Десь на 2020 рік чи невдовзі після нього закон Мура поступово перестане діяти, і Кремнієва Долина повільно перетвориться на “пояс іржі”, якщо не буде знайдено якихось нових технологій, що замінять старі. Згідно з законами фізики, ера кремнію колись закінчиться, і ми ввійдемо у посткремнієву еру. Транзистори будуть такі малі, що діятимуть закони квантової теорії (чи атомної фізики). Прикладом, найтонший шар усередині вашого комп'ютера буде близько п'яти атомів завтовшки. На цьому рівні, згідно із законами фізики, переважають ефекти квантової теорії. Принцип невизначеності Гейзенберга означає, що неможливо знати водночас і місце перебування, і швидкість будь-якої частинки. Може видатися, що це суперечить здоровому глузду, але на атомному рівні просто неможливо знати, де знаходиться електрон, відтак його неможливо втримати в ультратонкому проводі чи в ультратонкому шарі кремнію, бо він неодмінно “втікає”, і стається коротке замикання.

Ми розглянемо це детальніше в четвертому розділі, коли аналізуватимемо нанотехнології. Надалі в цьому розділі ми припускатимемо, що фізики знайшли наступника на місце кремнію, але що комп'ютерна потужність зростає значно повільніше, ніж раніше. Найімовірніше, що комп'ютери й надалі вдосконалюватимуться експоненціально, але їхня потужність подвоюватиметься не за вісімнадцять місяців, а за багато років.

## ПОЄДНАННЯ СПРАВЖНЬОЇ І ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

До середини сторіччя ми, ймовірно, житимемо в якійсь суміші зі справжньої й віртуальної реальності. У контактних лінзах чи оку-

лярах ми бачитимемо віртуальні образи, що накладатимуться на реальний світ. Так, серед багатьох інших, передбачає Сусуму Тачі з Університету Кейо. Він працює над спеціальними окулярами, що поєднуюватимуть вигадку з дійсністю. Його перший проект – зробити так, щоб об’єкти “розчинялися в повітрі”.

Я побував у професора Тачі в Токіо і бачив на власні очі деякі його дивовижні експерименти з поєднання справжньої й віртуальної реальності. Один простий приклад – змусити якийсь об’єкт зникнути (принаймні у ваших окулярах). Спочатку я одягнув спеціальний світло-коричневий плащ. Коли я розставив руки, він став схожий на велике вітрило. Тоді одну камеру спрямували на мій плащ, а інша знімала пейзаж позаду мене, що складався з автобусів і автомобілів на шляху. За мить комп’ютер з’єднав ці два зображення, так що пейзаж, який був у мене за спиною, спроектували на мій плащ, наче на екран. Якщо подивитися у спеціальну лінзу, то моє тіло зникало, залишались тільки зображення автомобілів і автобусів. Оскільки моя голова була над плащем, то виглядало так, наче моя голова висить у повітрі, без тіла, як Гаррі Поттер у своєму плащі-невидимці.

Тоді професор Тачі показав мені спеціальні окуляри. Одягнувши їх, я бачив реальні об’єкти, які за моїм бажанням зникали. Це не справжня невидимість, оскільки вона існує тільки в спеціальних окулярах, що з’єднують два зображення. Однак це частина великої програми професора Тачі, яку іноді називають “доповненою реальністю”.

До середини сторіччя ми житимемо у повністю функціональному кіберсвіті, що поєднуватиме реальний світ із зображеннями з комп’ютера. Це може докорінно змінити професійну діяльність, комерцію, розваги й наш спосіб життя. Доповнена реальність відразу подіяла б на ринок. Її найпершим комерційним застосуванням було б зробити об’єкти невидимими або зробити невидиме видимим.

Наприклад, якщо ви пілот чи водій, то ви зможете бачити все на 360 градусів довкола себе й навіть у себе під ногами, тому що ваші окуляри чи лінзи даватимуть вам змогу бачити крізь стіни літака чи автомобіля. Це означає, що зникнуть “мертві зони”, які сьогодні є причиною численних аварій і смертей. У повітряному бою пілоти зможуть стежити за літаками противника, хай де б ті літали, хоч би й під їхніми літаками, так немов їхні літаки прозорі. Водії зможуть бачити у всіх напрямках, оскільки крихітні камери зніматимуть усе на 360 градусів навколо і посилаватимуть ці зображення у їхні контактні лінзи.



Якщо ви астронавт, що ремонтує щось на зовнішньому боці ракетоносія, то для вас це також буде корисним, оскільки ви зможете бачити просто крізь стіни, перегородки й оболонку ракетоносія. Ця технологія може рятувати життя. Якщо ви будівельник, який щось ремонтує під землею, серед безлічі проводів, труб і клапанів, то ви знатимете точно, як вони всі з'єднані. Це може виявитися надзвичайно важливим у випадку вибуху газу чи пари, коли треба швидко полагодити труби, що сховані за стінами.

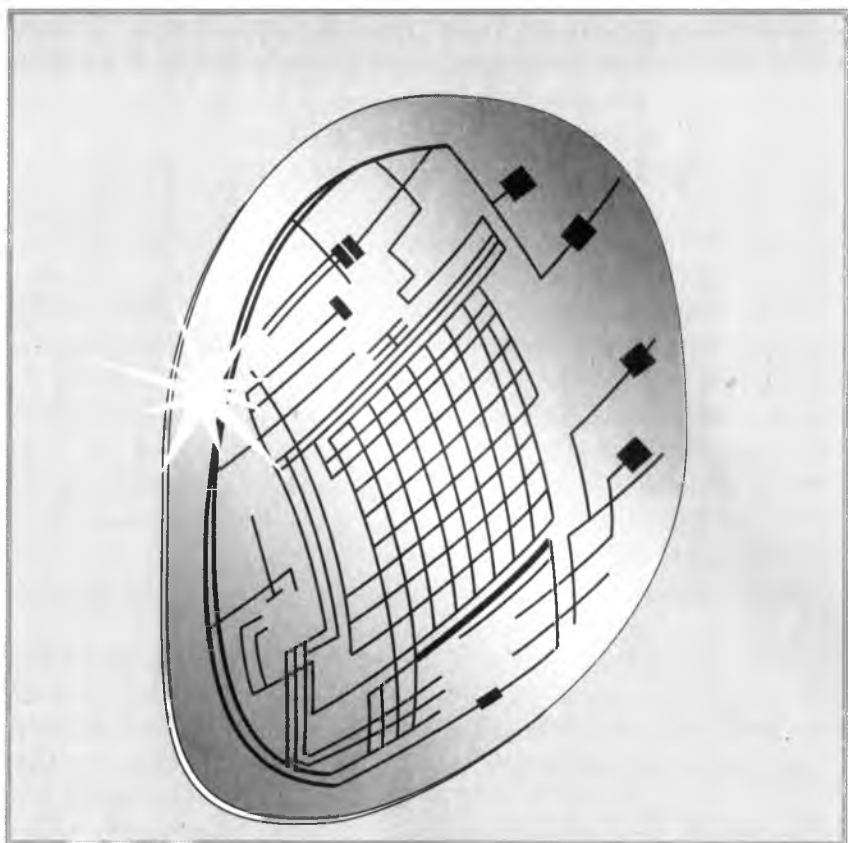
Так само, якщо ви геолог-розвідник, ви зможете дивитися просто крізь ґрунт і бачити підземні поклади води чи нафти. Комп'ютер опрацює знімки ділянки землі, зроблені супутником чи літаком із використанням інфрачервоного чи ультрафіолетового світла, й передасть результат у вашу контактну лінзу: ви одержите тривимірний аналіз конкретної ділянки й того, що сховане під поверхнею. Ви йтимете через пустельну територію й “бачитимете” крізь вашу лінзу цінні поклади мінералів.

На додачу до того, щоб робити різні об'єкти невидимими, вам буде до снаги й протилежне: робити невидиме видимим.

Якщо ви архітектор, то зможете ходити по порожній кімнаті й раптом “побачити” цілий тривимірний образ будівлі, яку проектуєте. Ви ходитимете з кімнати в кімнату, і схеми на ваших кресленнях ставатимуть вам перед очима. Порожні кімнати раптом оживатимуть – з меблями, килимами й декораціями на стінах, – даючи вам змогу візуалізувати своє творіння у трьох вимірах ще до того, як ви насправді його збудуєте. Просто порухавши руками, ви зможете створювати нові кімнати, стіни й меблі. У цьому доповненому світі ви матимете владу чарівника, створюючи який завгодно об'єкт помахом чарівної палички.

## **ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ: РЕВОЛЮЦІЯ В ТУРИЗМІ, МИСТЕЦТВІ, СПОСОБАХ КУПІВЛІ ТОВАРІВ І МЕТОДАХ ВЕДЕННЯ ВІЙНИ**

Як бачите, значення доповненої реальності для комерції і професійної діяльності потенційно величезне. Практично кожен спеціальність можна збагатити за допомогою доповненої реальності. Крім того, наше життя, наші розваги й наше суспільство можуть набути нової якості завдяки цій технології.



Контактні лінзи з інтернетом розпізнаватимуть обличчя людей, показуватимуть їхні біографії і перекладатимуть їхні слова у вигляді субтитрів. Туристи за їхньою допомогою бачитимуть давні пам'ятки такими, якими вони були колись. Митці й архітектори за їхньою допомогою візуалізуватимуть і змінюватимуть свої віртуальні творіння. Доповнена реальність дає нескінченні можливості.

*Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)*

Наприклад, турист у музеї може ходити від експоната до експоната й бачити в контактній лінзі опис кожного об'єкта; віртуальний гід може провести для вас кіберекскурсію. Якщо ви відвідуватимете якісь історичні руїни, то зможете "побачити" давні будівлі повністю відновленими у всій їхній красі й водночас ознайомитися з історіями з минулого. Залишки Римської імперії вже не будуть лише понищеними колонами, що заросли бур'янами, а знову оживуть, коли ви ходитимете поміж них; ви бачитимете також необхідні коментарі та примітки.

Пекінський технологічний університет уже зробив перші маленькі кроки в цьому напрямі. Він відтворив у кіберпросторі прегарний Сад досконалої ясності, який зруйнували британсько-французькі війська під час Другої Опіумної війни 1860 року. Сьогодні все, що залишилось від казкового саду, – це руїни, покинуті солдатами-мародерами. Проте якщо ви дивитиметеся на ці руїни зі спеціального оглядового майданчика, то побачите перед собою весь сад у всій його пишній красі. У майбутньому це стане звичним явищем.

Навіть іще досконалішу систему розробив винахідник Ніколас Некке, який створив пішу екскурсію містом Базелем у Швейцарії. Прогулюючись його давніми вуличками, ви бачите образи давніх будинків і навіть людей, що накладаються на сучасність, так начебто ви подорожуєте в часі. Комп'ютер визначає ваше місце перебування і показує вам у спеціальних окулярах зображення давніх сцен, начебто ви перенеслися в Середньовіччя. Сьогодні ви мусите носити великі окуляри й важкий ранець із GPS-електронікою й комп'ютерами. Завтра все це вміщатиметься у вашій контактній лінзі.

Якщо ви їхатимете в автомобілі в чужій країні, всі одиниці виміру переводитимуться у вашій контактній лінзі в англійські, тож вам не доведеться переводити їх самотужки. Ви бачитимете дорожні знаки з інформацією про ті чи інші об'єкти поблизу, зокрема про туристичні визначні місця. До того ж вам буде доступний швидкий переклад дорожніх знаків.

Туристи, що вирушатимуть у піший похід, точно знатимуть не тільки своє місце перебування у чужій країні, а й назви всіх рослин і тварин, вони зможуть побачити карту конкретної місцевості й одержати прогнози погоди. Вони також бачитимуть стежки й місця для наметів, що можуть бути сховані за деревами й чагарниками.

Охочі придбати житло зможуть бачити варіанти, що пропонуються, коли йтимуть вулицею або проїжджатимуть в автомобілі. У вашій лінзі з'являтиметься ціна, інформація про вигоди тощо для кожного помешкання чи будинку, що продається.

А вдивляючись у нічне небо, ви чітко розрізнятимете зірки й усі сузір'я, так немов дивитеся на екран планетарію – за винятком того, що зірки, які ви бачитимете, будуть справжні. Ви також бачитимете, де розташовані галактики, віддалені чорні діри та інші цікаві астрономічні явища, і зможете завантажувати цікаві лекції.

Доповнений зір не тільки дасть вам змогу дивитися крізь об'єкти й відвідувати чужі краї, а й буде незамінним, якщо вам треба буде негайно одержати якусь дуже конкретну інформацію.

Наприклад, якщо ви актор чи музикант і вам доводиться запам'ятовувати великі обсяги матеріалу, то в майбутньому ви бачитимете всі тексти чи ноти у контактній лінзі. Вам більше не знадобляться телесуфлери, картки-шпаргалки, партитури чи нотатки. Вам більше не потрібно буде нічого запам'ятовувати.

Інші приклади:

- Якщо ви студент і пропустили лекцію, то ви зможете завантажувати й слухати лекції, які читатимуть віртуальні професори. За допомогою телеприсутності перед вами може з'явитися образ якогось реального професора і відповісти на всі ваші запитання. У контактній лінзі ви також зможете побачити різні досліди, відеоматеріали тощо.
- Якщо ви солдат, то спеціальні окуляри або навушники можуть дати вам усю найновішу інформацію, карти, дислокацію сил противника, напрям вогню, вказівки керівництва тощо. Під час бою, коли кулі свистітимуть у всіх напрямках, ви зможете бачити крізь перешкоди й пагорби і знати позиції військ противника, оскільки їхню дислокацію визначатимуть безпілотні літальні апарати.
- Якщо ви хірург, що робить складну термінову операцію, то ви зможете бачити, що відбувається всередині пацієнта (за допомогою портативних магнітно-резонансних томографів) крізь тканини тіла (завдяки сенсорам, що рухатимуться всередині тіла), а також матимете всю історію хвороби і відеозаписи попередніх операцій.
- Якщо ви гратимете у відеогру, то зможете зануритися в кіберсвіт у своїй контактній лінзі. Ви можете перебувати у порожній кімнаті й бачити досконалі тривимірні образи всіх своїх друзів, відчувати навколо себе якийсь позаземний ландшафт, готуючись до битви з уявними прибульцями. Вам здаватиметься, що ви на полі бою на якійсь чужій планеті, і навколо вас і ваших товаришів поширюються ударні хвилі від променевої зброї.
- Якщо вам знадобляться дані якогось спортсмена чи будь-яка інформація про спорт, то ця інформація миттєво з'явиться у вашій контактній лінзі.

Це означає, що вам стане непотрібний мобільний телефон, годинник чи МРЗ-плеєр. Усі “іконки” на ваших різноманітних кишенькових об'єктах будуть спроектовані на ваші контактні лінзи, отже, ви зможете користуватися ними коли завгодно. Дзвонити по телефону, заходити на музичні веб-сайти тощо – все це можна буде робити таким способом. Багато приладів і пристроїв, які ви маєте вдома, зможе замінити доповнена реальність.

Інший науковець, що розширяє межі доповненої реальності – це Петті Маєс із медіалабораторії Массачусетського технологічного інституту. Замість того, щоб використовувати спеціальні контактні лінзи чи окуляри, вона припускає, що комп'ютерний екран можна буде спроектувати на різні об'єкти, що нас оточують. У її проєкті, який має назву *SixthSense*, передбачається, що людина носитиме на шиї, як медальйон, крихітну камеру з проектором, який проєктуватиме зображення комп'ютерного екрана на будь-що, наприклад, на стіну чи стіл.

Якщо натиснути на уявні кнопки, то це автоматично активує комп'ютер, так начебто ви друкуєте на справжній клавіатурі. Оскільки зображення комп'ютерного екрана можна спроектувати на будь-який плаский і твердий предмет, то ви зможете перетворити сотні різних об'єктів на комп'ютерні екрани.

Крім того, на пальцях ви матимете спеціальні пластикові наперстки. Ви порухаєте пальцями, і комп'ютер виконуватиме вказівки на екрані на стіні. Наприклад, порухавши пальцями, ви зможете малювати на комп'ютерному екрані якісь зображення. Ви пересуватимете курсор пальцями, а не комп'ютерною мишею. А якщо ви складете долоні так, щоб утворився квадрат, то активує цифрову камеру і зможете робити знімки.

Це також означає, що коли ви ходитимете по крамницях, ваш комп'ютер скануватиме різні товари, визначатиме, що це таке, а тоді даватиме вам повну інформацію про їхній склад, вміст калорій та відгуки інших покупців. Оскільки чіпи коштуватимуть менше, ніж штрих-коди, кожний товар матиме власну “розумну” етикетку, яку ви зможете детально вивчити.

Іншим застосуванням доповненої реальності може бути рентгенівський зір, що використовуватиме процес із назвою “зворотне розсіювання рентгенівських променів” (дуже схожий на рентгенівський зір у коміксах про Супермена). Якщо ваші окуляри чи контактні лінзи будуть чутливі до рентгенівських променів, то, ймовірно, ви зможете бачити крізь стіни. Дивлячись навколо, ви бачитимете крізь

об'єкти – зовсім як у журналах із коміксами. Кожен малюк після знайомства з Суперменом мріє стати “швидшим за кулю, потужнішим за локомотив”. Тисячі дітлахів надягають плащ, як у Супермена, стрибають з ящиків, підстрибують у повітря і вдають, що мають рентгенівський зір; тепер це стане реальністю.

Одна проблема зі звичайними рентгенівськими променями – це те, що треба розмістити рентгенівську плівку позаду якогось об'єкта, посвітити на цей об'єкт рентгенівськими променями, а тоді проявити плівку. Однак рентгенівські промені зворотного розсіювання розв'язують усі ці проблеми. Спочатку ми маємо рентгенівські промені з якогось джерела світла, що поширюються по всьому приміщенню. Тоді вони відбиваються від стін і йдуть з-поза об'єкта, який ми хочемо дослідити. Наші окуляри чутливі до рентгенівських променів, що пройшли крізь конкретний об'єкт. Зображення за допомогою рентгенівських променів зворотного розсіювання можуть бути такими ж якісними, як і зображення в коміксах. (Збільшуючи чутливість окулярів, можна зменшити інтенсивність рентгенівських променів, щоб звести до мінімуму загрозу для здоров'я.)

## УНІВЕРСАЛЬНІ ПЕРЕКЛАДАЧІ

У *Зоряному шляхові*, *Зоряних війнах* і практично всіх інших науково-фантастичних фільмах усі герої, хоч як це дивовижно, розмовляють досконалою англійською мовою. Це тому, що існує такий собі “універсальний перекладач”, який дає змогу землянам безперешкодно спілкуватися з будь-якою чужою цивілізацією, усуваючи потребу вдаватися до примітивної й незручної мови знаків і жестів.

Колись уважали, що універсальний перекладач може з'явитися хіба що в дуже далекому майбутньому, однак перші версії існують уже сьогодні. Це означає, що в майбутньому, подорожуючи чужою країною й розмовляючи з тамтешніми мешканцями, ви бачитимете в контактній лінзі субтитри, наче дивитеся фільм іноземною мовою. Крім того, за вашим бажанням комп'ютер зможе створити аудіопереклад, який ви чути будете в навушниках. Це означає, що в майбутньому двоє людей зможуть розмовляти одне з одним, кожен своєю мовою, й чути в навушниках переклад, якщо обоє матимуть універсального перекладача. Цей переклад не буде досконалий, оскільки завжди є проблеми з ідіомами, сленгом і емоційно забарвленими ви-

словами, але він буде достатньо добрий, щоб можна було зрозуміти суть того, що говорить інша людина.

Є кілька способів, як науковці намагаються втілити це в дійсність. Перший – це створити пристрій, який конвертуватиме усне мовлення в письмовий текст. У середині 1990-х років перші комерційні пристрої з розпізнавання мови з'явилися на ринку. Вони вміли розпізнавати до 40 000 слів з 95-відсотковою точністю. Оскільки типова побутова розмова містить лише від 500 до 1000 слів, то ці пристрої більш ніж адекватні. Коли транскрипцію людського голосу завершено, тоді кожне слово перекладає іншою мовою комп'ютерний словник. Після цього настає найскладніший етап: слова треба вмістити в контекст, додати сленг, розмовні вислови тощо – все це вимагає глибокого розуміння тонких нюансів мови. Цей напрям називають комп'ютеризованим перекладом.

Інший спосіб розробляють в Університеті Карнегі-Меллона в Пітсбурзі. Там науковці вже мають прототипи, що можуть перекладати з китайської мови англійською і з англійської – іспанською чи німецькою. Вони прикріплюють до шиї й обличчя мовця електроди, які вловлюють скорочення м'язів і розшифровують відповідні слова. Цей процес не вимагає жодного аудіообладнання, оскільки слова можна артикулювати беззвучно. Тоді комп'ютер перекладає ці слова, а синтезатор мовлення вимовляє їх уголос. У простих розмовах, що містять 100-200 слів, таким способом удалося досягти 80-відсоткової точності перекладу.

“Ідея полягає в тому, що ви артикулюєте слова англійською мовою, а вони звучать китайською або якоюсь іншою,” – каже Таня Шульц, одна з дослідників. Не виключено, що в майбутньому комп'ютер читатиме слова вашого співрозмовника по губах, відтак електроди будуть непотрібні. Тож, у принципі, можливо, що колись двоє людей зможуть вільно розмовляти одне з одним, хоч і кожен говоритиме своєю мовою.

У майбутньому мовні бар'єри, що колись трагічно перешкоджали культурам зрозуміти одна одну, можуть поступово зникнути, оскільки буде універсальний перекладач і контактні лінзи чи окуляри з інтернетом.

Хоч доповнена реальність відкриває цілком новий світ, є деякі обмеження. Проблема полягатиме не в обладнанні; не буде обмежувальним чинником і ширина смуги пропускання, оскільки волоконно-оптичними кабелями можна передавати який завгодно обсяг інформації.

Справжній обмежувальний чинник – це програмне забезпечення. Створювати програмне забезпечення можна тільки старомодним способом. Тільки людина, – яка спокійно сидітиме на стільці з олівцем, папером і лептопом, – повинна буде написати, рядок за рядком, усі програми, що зроблять ці уявні світи реальністю. Можна масово виготовляти обладнання й збільшувати його потужність, нагромаджуючи більше й більше чіпів, але не можна масово виготовляти розум. Це означає, що по-справжньому доповнений світ з'явиться не раніше, ніж за кілька десятків років, – близько середини сторіччя.

## ГОЛОГРАМИ І ТРИ ВИМІРИ

Інше технологічне досягнення, яке ми зможемо побачити до середини сторіччя, – це по-справжньому тривимірне телебачення й фільми. У далеких 1950-х, аби дивитися тривимірні фільми, треба було надягати громіздкі окуляри, в яких одна лінза була синя, а інша червона. Їхній принцип дії ґрунтувався на тому, що осі зору лівого й правого ока не зовсім збігаються; екран показував два зображення – одне синє й одне червоне. Ці окуляри діяли як фільтри, що давали два різні зображення для лівого і для правого ока, і коли мозок поєднував ці два зображення, створювалась ілюзія тривимірності. Тобто відчуття глибини було трюком. (Чим більша відстань між очима, тим сильніше відчуття глибини. Саме тому в деяких тварин очі розташовані по різні боки голови: щоб вони мали максимальне відчуття глибини.)

Дещо досконаліша версія – це стереоскопічні окуляри з поляризованого скла, в яких ліве і праве око бачать два різні поляризовані зображення. Таким способом можна бачити тривимірні зображення у всіх кольорах, а не лише в синьому й червоному. Оскільки світло – це хвиля, то воно може вібрувати вгору і вниз або вправо і вліво. Поляризована лінза – це шматок скла, який пропускає тільки один напрям світла. Відтак, якщо лінзи у ваших окулярах мають різні осі поляризації, то вони можуть створити ефект трьох вимірів. Ще досконалішою версією стереоскопічного телебачення могла б бути система, в якій у ваші контактні лінзи посилались би два різні зображення.

Стереоскопічні телевізори, що вимагають використання спеціальних окулярів, уже є на ринку. Однак незабаром ці окуляри стануть непотрібні, бо замість них використовуватимуть ступінчасті лінзи.



Екран телевізора спеціально зроблений так, що він проектує два різні зображення під неоднаковим кутом, кожне для іншого ока. Отже, ваші очі бачать різні зображення, і це створює ілюзію об'ємності. Однак голова мусить бути розташована правильно; є так звані зони найкращого сприйняття, де мають бути очі, коли ви дивитеся на екран. (Цей принцип ґрунтується на добре відомій оптичній ілюзії. У сувенірних крамницях ми бачимо картинки, що магічно змінюються, коли ми повз них проходимо. Для цього беруть дві різні картинки, ріжуть кожну на тонкі смужки, а тоді чергують ці смужки, створюючи одну комбіновану картинку. На цю комбіновану картинку накладають лентикулярне скло з багатьма вертикальними пазами, так щоб у кожний паз увійшло рівно дві смужки. Цей паз має таку форму, що коли ви дивитеся на нього під одним кутом, то бачите одну смужку, а коли під іншим – то іншу. Тому, проходячи повз таке скло, ми бачимо, як одна картинка раптом змінюється на іншу, а потім знову назад. Стереоскопічні телевізори незабаром замінять ці стаціонарні картинки рухомими зображеннями, щоб досягти того самого ефекту вже без окулярів.)

Однак найдосконалішою версією тривимірних зображень будуть голограми. Без жодних окулярів ви бачитимете точний хвильовий фронт тривимірного зображення, так начебто воно було просто перед вами. Голограми існують уже кілька десятків років (їх можна побачити у сувенірних крамницях, на кредитних картках і на виставках), і їх постійно показують у науково-фантастичних фільмах. У *Зоряних війнах* інтрига починається з того, що принцеса Лея надсилає членам Альянсу за відновлення республіки голографічне послання з проханням про допомогу.

Проблема в тому, що створювати голограми дуже складно.

Аби створити голограму, один лазерний промінь розщеплюють надвоє. Один промінь падає на об'єкт, який ви хочете сфотографувати, тоді цей промінь відбивається й потрапляє на спеціальний екран. Другий лазерний промінь падає безпосередньо на екран. У результаті змішування цих двох променів утворюється складна інтерференційна картина, що містить "заморожене" тривимірне зображення оригінального об'єкта, яке потім фіксують на спеціальній плівці на екрані. Крізь цей екран світять ще одним лазерним променем, і тоді зображення оригінального об'єкта з'являється у реальних трьох вимірах.

З голографічним телебаченням пов'язані дві проблеми. Перша – це те, що зображення треба світити на екран. Сидячи перед екраном,

ви бачите точне тривимірне зображення оригінального об'єкта. Але ви не можете простягнути руку й доторкнутися до нього. Тривимірне зображення, яке ви бачите перед собою, – це ілюзія.

Це означає, що якщо ви дивитесь на голографічному телевізорі тривимірний футбольний матч, то хоч як би ви пересувалися, зображення змінюватиметься, наче справжнє. Вам може здаватися, що ви сидите просто в центрі поля за кілька дюймів від гравців. Однак, якби ви простягнули руку, щоб зловити м'яч, то наткнулися б на екран.

Справжня технічна проблема, що перешкоджала створенню голографічного телебачення, – це зберігання інформації. Тривимірне зображення містить величезний обсяг інформації, що в багато разів перевищує вміст інформації в двовимірному зображенні. Комп'ютери елементарно опрацьовують двовимірні зображення, оскільки таке зображення розкладається на крихітні точки, які називають пікселями, і кожний піксель підсвічується крихітним транзистором. Але щоб зробити тривимірне зображення рухомим, треба висвітлювати тридцять зображень за секунду. Навіть приблизний підрахунок показує, що аби створювати рухомі тривимірні голографічні зображення, потрібно стільки інформації, що це значно перевищує можливість сучасного інтернету.

До середини сторіччя цю проблему може бути розв'язано, оскільки ширина смуги пропускання інтернету зростає експоненціально.

Як могло б виглядати справді тривимірне телебачення?

Один варіант – це екран у формі циліндра або купола, всередині якого сидить глядач. Коли голографічне зображення проектується на екран, ми бачимо навколо себе тривимірні образи, наче справжні.

## **ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)**

### **ТОРЖЕСТВО РОЗУМУ НАД МАТЕРІЄЮ**

До кінця цього сторіччя ми керуватимемо комп'ютерами самою думкою. Як античні боги, ми подумки даватимемо команди, і наші бажання виконуватимуться. Фундамент цієї технології вже закладено. Проте, щоб довести її до досконалості, потрібно буде багато десятків років. Ця революція складатиметься з двох частин. По-перше,

розум мусить навчитися керувати навколишніми об'єктами. По-друге, комп'ютер мусить розшифровувати бажання людини, щоб їх виконувати.

Перший великий прорив відбувся 1998 року, коли науковці в Університеті Еморі в штаті Джорджія та в Тюбінгенському університеті в Німеччині вживили крихітний скляний електрод просто в мозок п'ятдесятишестирічного чоловіка, що був паралізований після інсульту. Електрод під'єднали до комп'ютера, який аналізував сигнали з мозку. Пацієнт міг бачити курсор на екрані комп'ютера. Тоді за допомогою біологічного зворотного зв'язку він навчився пересувати курсор самою лише думкою. Вперше було створено прямий зв'язок між людським мозком і комп'ютером.

Найдосконалішу версію цієї технології розробив нейробіолог Джон Донаг'ю з Університету Брауна – він створив пристрій із назвою *BrainGate*, який допомагає людям, що зазнали важкої травми головного мозку, спілкуватися з зовнішнім світом. Цей винахід створив сенсацію в засобах масової інформації, а сам Донаг'ю навіть потрапив на обкладинку журналу *Nature* 2006 року.

Донаг'ю розповів мені, що мріє, аби *BrainGate* докорінно змінив наші методи лікування травм головного мозку, використовуючи повною мірою можливості інформаційної революції. Цей пристрій уже кардинально змінив життя його пацієнтів, і Донаг'ю дуже надіється на подальший розвиток цієї технології. Він має особистий інтерес у цьому дослідженні, оскільки в дитинстві був прикутий до інвалідного візка через важку хворобу і йому знайоме це відчуття безпорадності. Його пацієнти – це люди, що перенесли інсульт і повністю паралізовані й неспроможні спілкуватися з рідними, але їхній мозок залишається активним. Він умістив маленький чіп (лише 4 міліметри завширшки) на поверхню мозку кожного пацієнта, у ділянку, що відповідає за руховий апарат. Цей чіп під'єднано до комп'ютера, який аналізує й опрацьовує сигнали мозку, а тоді надсилає відповідну інформацію на лептоп.

Спочатку пацієнт не впливає на місце перебування курсора, але бачить, як той пересувається. Методом проб і помилок пацієнт вчиться керувати курсором і вже за кілька годин може пересунути курсор куди завгодно. За якийсь час пацієнт уже вміє читати, писати електронні листи, грати у відеоігри. Теоретично, паралізована людина могла б виконувати будь-яку функцію, якою можна керувати за допомогою комп'ютера.

Донаг'ю почав з чотирьох пацієнтів – двоє мали травму спинного мозку, один переніс інсульт і ще один мав боковий аміотрофічний склероз. Один з цих пацієнтів, паралізований від шиї донизу, навчився пересувати курсор лише за день. Сьогодні він уміє перемикати телевизор, пересувати курсор комп'ютера, грати у відеогру й читати електронну пошту. Крім того, пацієнти вміють керувати моторизованим інвалідним візком.

Для людей, що повністю паралізовані, ця технологія в близькому майбутньому означатиме справжнє чудо. Одного дня вони ув'язнені у своєму безпорадному тілі, а наступного дня – вже мандрують усе-світньою павутиною і спілкуються з людьми по всьому світу.

(Якось я був на урочистому прийомі на честь видатного космолога Стівена Гокінга в Лінкольн-центрі у Нью-Йорку. Боляче було дивитися, як той сидить у своєму інвалідному візку, прив'язаний пасками, не здатний поворухнути нічим, за винятком кількох лицевих м'язів і повік, а асистенти підтримують його безвольну голову і возять повсюди його візок. Йому потрібно кілька годин, а то й днів, щоб висловити якісь прості ідеї через синтезатор мовлення. Я подумав: а може, для нього ще не запізно скористатися технологією *BrainGate*. Тоді до мене підійшов привітатися Джон Донаг'ю, який також був серед гостей. Тож, можливо, *BrainGate* – найкращий вихід для Гокінга.)

Інша група науковців в Університеті Дюка досягла аналогічних результатів на мавпах. Мігель А. Л. Ніколеліс і його команда вживили чіп у мозок мавпи. Чіп під'єднали до механічної руки. Спочатку мавпа безладно розмахує кінцівками, не розуміючи, як управляти механічною рукою. Однак за якийсь час такі мавпи вже вміють повільно керувати рухами механічної руки – наприклад, вони можуть схопити цією рукою банан. Вони можуть інстинктивно рухати цією рукою, не думаючи, так начебто ця механічна рука – їхня власна. “Є деякі фізіологічні дані, які свідчать, що протягом цього експерименту мавпи відчують сильніший зв'язок із цим роботом, ніж з власним тілом”, – каже Ніколеліс.<sup>4</sup>

Це також означає, що одного дня ми зможемо управляти механізмами самою лише думкою. Паралізовані зможуть таким способом керувати механічними руками й ногами. Наприклад, можливо, хтось зуміє з'єднати головний мозок людини безпосередньо з механічними руками й ногами, оминувши спинний мозок, і пацієнт знову зможе ходити. Крім того, це може стати основою технології, яка дасть нам змогу керувати світом лише силою розуму.

## ЧИТАННЯ ДУМОК

Якщо мозок людини може керувати комп'ютером або механічною рукою, то, може, комп'ютер зможе читати думки людини без того, щоб вживлювати електроди їй у мозок?

Від 1875 року відомо, що дія мозку ґрунтується на електриці, яка проходить крізь його нейрони, від чого утворюються слабкі електричні сигнали. Ці сигнали можна виміряти електродами, які прикріплюють до голови пацієнта. Проаналізувавши електричні імпульси, зафіксовані цими електродами, можна записати нейронні коливання. Це називають електроенцефалограмою (ЕЕГ); ЕЕГ може фіксувати основні зміни в мозку, наприклад, коли він спить, а також різні настрої – хвилювання, злість тощо. Результат ЕЕГ можна вивести на комп'ютерний екран, і пацієнт може його побачити. За якийсь час пацієнт навчається пересувати курсор самою думкою. Нільс Бірбаумер з Тюбінгенського університету вже навчив частково паралізованих людей друкувати таким методом прості речення.

Навіть виробники іграшок користуються цією технологією. Кілька компаній, що виготовляють іграшки, у тому числі *NeuroSky*, рекламують пов'язку з електродом типу тих, що використовують в електроенцефалографії. Якщо зосередитися певним способом, то можна активувати електроенцефалограф у пов'язці, який керує іграшкою. Наприклад, ви можете підняти кульку для настільного тенісу в циліндрі самою думкою.

Перевагою електроенцефалографії є те, що вона дає змогу швидко виявити різні частоти, що їх випромінює мозок, без складного дорогого обладнання. Але великий недолік полягає в тому, що вона не дає змоги пов'язати конкретні думки з конкретними місцями в мозку.

Набагато чутливіший метод – це функціональна магнітно-резонансна томографія (фМРТ). ЕЕГ і фМРТ відрізняються між собою у важливих аспектах. Електроенцефалограф – це пасивний пристрій, що просто фіксує електричні сигнали мозку, отже, ми не можемо точно локалізувати джерела цих сигналів. Функціональний магнітно-резонансний томограф використовує “луну”, створену радіохвилями, щоб зазирнути всередину живої тканини. Це дає нам змогу визначити точне місце різних сигналів, одержуючи приголомшливі тривимірні зображення мозку зсередини.

Функціональний магнітно-резонансний томограф доволі дорогий і вимагає лабораторії, повної важкого обладнання, але завдяки йому ми вже отримали надзвичайно важливі дані про те, як функціонує мозок. Функціональний магнітно-резонансний томограф дає науковцям змогу локалізувати присутність кисню, що міститься в гемоглобіні в крові. Оскільки насичений киснем гемоглобін містить енергію, що підсилює активність клітин, то виявивши потік цього кисню, можна відстежити потік думок у мозку.

Джошуа Фрідман, психіатр у Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі, сказав: “Це наче бути астрономом у шістнадцятому сторіччі після того, як винайшли телескоп. Тисячі років дуже розумні люди намагалися збагнути, що відбувається на небі, але вони могли тільки здогадуватися про те, що насправді лежить за межею людського бачення. Тоді раптом нова технологія дала їм змогу чітко побачити, що там є”.<sup>5</sup>

Фактично, функціональні магнітно-резонансні томографи можуть навіть відобразити рух думок у живому мозку з роздільною здатністю до 0,1 міліметра (це менше, ніж вістря шпильки), що відповідає, мабуть, кільком тисячам нейронів. Функціональний магнітно-резонансний томограф може створити тривимірні зображення потоку енергії всередині живого мозку з неймовірною точністю. Можливо, колись з'являться томографи, що сягатимуть рівня окремих нейронів – в такому разі стане можливо одержати нейронні візерунки, що відповідають конкретним думкам.

Один прорив недавно здійснили Кендрік Кей і його колеги в Каліфорнійському університеті в Берклі. Вони зробили фМРТ людей, коли ті дивилися на картинки з різними об'єктами – їжею, тваринами, людьми і повсякденними предметами різного кольору. Кей з колегами створили комп'ютерну програму, яка може пов'язувати ці об'єкти з відповідними зразками нейронної діяльності, зібраними томографом. Чим більше об'єктів бачили піддослідні, тим краще комп'ютерна програма розпізнавала ці об'єкти на результатах фМРТ.

Тоді дослідники показували тим самим людям зовсім нові об'єкти, і програма часто правильно знаходила на результатах фМРТ відповідні візерунки. Коли піддослідним показали 120 картинок із новими об'єктами, програма правильно визначила відповідний візерунок для кожного об'єкта у 90 відсотках випадків. Коли показали 1000 нових картинок, рівень успішного розпізнавання становив 80 відсотків.

Кей каже, що “можна визначити, яке саме зображення людина бачила з великої кількості цілком нових природних зображень... Можливо, незабаром ми навчимося реконструювати картину зорового досвіду людини за допомогою самого лише вимірювання її мозкової активності”.<sup>6</sup>

Мета цього проекту – створити такий собі “словник думок”, у якому кожному об’єктові відповідатиме конкретний візерунок на результатах фМРТ. Читаючи результат фМРТ, можна буде розшифрувати, про який об’єкт людина думає. Врешті-решт, комп’ютер запам’ятає, мабуть, тисячі візерунків на результатах фМРТ, що виникають у живому мозку, і всі розшифрує. Таким способом може з’явитися можливість розшифрувати потік свідомості людини.

## ФОТОГРАФУВАННЯ СНОВИДІНЬ

Проблема цієї технології полягає ось у чому: за її допомогою можна визначити, що в конкретний момент ви думаєте, приміром, про собаку, однак не можна відтворити фактичного образу цього собаки. Один новий напрям досліджень має на меті реконструювати точне зображення того, про що думає мозок, щоб можна було створювати відеозапис думок людини. Не виключено, що таким способом можна буде створювати відеозаписи сновидінь.

Із незапам’ятних часів людей чарували сновидіння – ці ефемерні образи, які іноді так важко згадати чи зрозуміти. Голлівуд уже давно передбачив появу машин, що зможуть посилати у мозок думки, схожі на сновидіння, чи навіть записувати їх, як у фільмі *Згадати все*. Однак усе це було чистою вигадкою.

Тобто було донедавна.

Науковці досягли дивовижних результатів у сфері, що колись уважалась неможливою: у фотографуванні наших спогадів і, можливо, наших сновидінь. Перші кроки в цьому напрямі зробили науковці з лабораторії обчислювальної неврології Інституту перспективних телекомунікаційних досліджень у Кіото. Вони показали піддослідним точку світла в конкретному місці. Тоді за допомогою фМРТ записали, де саме мозок зберіг цю інформацію. Перемістили цю точку світла й записали, де мозок зберіг це нове зображення. Врешті-решт вони мали точну карту місць, де безліч точок світла зафіксувалися в мозку. Ці точки розмістили на матриці 10×10.

Тоді науковці створили зображення простого об'єкта з цих  $10 \times 10$  точок, такого, як підкова. За допомогою комп'ютера вони проаналізували, як мозок зберіг це зображення. Безперечно, візерунок, що його зафіксував мозок, був сумою зображень, з яких складалася підкова.

Таким способом цим науковцям удалося створити картину того, що мозок бачить. Будь-який візерунок із точок світла на цій матриці  $10 \times 10$  можна розшифрувати, проаналізувавши за допомогою комп'ютера результати фМРТ.

У майбутньому ці науковці хочуть збільшити кількість пікселів на цій матриці  $10 \times 10$ . Щобільше, вони заявляють, що цей процес універсальний, тобто що будь-яку візуальну думку чи навіть сновидіння, теоретично, можна розпізнати за допомогою фМРТ. Якщо це справді так, то це може означати, що ми зможемо записувати – вперше в історії – образи, які бачимо у снах.

Звичайно, наші ментальні образи (й особливо сновидіння) ніколи не бувають кришталево чіткими, тож вони будуть трохи розмиті, але вражає сам факт, що ми зможемо зазирнути вглиб візуальних думок у чийомусь мозку.

## ЧИ ЕТИЧНО ЧИТАТИ ЧУЖІ ДУМКИ

Це створює одну проблему: Що станеться, якщо ми легко читатимемо чужі думки? Ця проблема непокоїть Нобелівського лауреата Девіда Балтімора, колишнього президента Каліфорнійського технологічного інституту. Він пише: “Чи зможемо ми підглядати думки інших? ... Не думаю, що це суто наукова фантастика, але ж це було б щось несусвітнє. Уявіть, як це – залицятися до когось, якщо ваші думки можна прочитати, чи вести переговори про контракт, коли ваші думки можна прочитати”.<sup>7</sup>

У більшості випадків, припускає він, читання чужих думок матиме дещо збентежливі, але не катастрофічні наслідки. Він пише: “Мені казали, що якщо перервати лекцію професора ... то виявиться, що значна частка [студентів] заглиблена в еротичні фантазії”.<sup>8</sup>

Однак можливо, що читання думок не стане аж таким питанням приватності, оскільки більшість наших думок не сформульовані чітко. Можливо, колись ми й навчимося фотографувати наші мрії й сновидіння, але нас напевно розчарує якість цих фотографій. Пам'ятаю,





Читання думок за допомогою ЕЕГ (вгорі) і фМРТ (внизу). У майбутньому ці електроди будуть мініатюрні. Ми зможемо читати думки й керувати об'єктами самою думкою. Фото вгорі Даниеля Міхайлеску (Daniel Mihailescu/AFP); внизу Мігуеля Альвареса (Miguel Alvarez/AFP)

як кілька років тому я читав одне оповідання, в якому одному чоловікові джин пообіцяв, що той матиме все, що лише уявить. Чоловік негайно уявив дорогі розкішні речі: лімузини, мільйони доларів готівкою і замок. Джин умить це все матеріалізував. Але коли чоловік усе докладно роздивився, то його неприємно вразило, що лімузин не має дверних замків і двигуна, обличчя на банкнотах розмиті, а замок порожній. Поспішаючи все це уявити, він забув, що ці зображення існують у його уяві тільки як загальні поняття.

До того ж малоймовірно, що ми зможемо читати чужі думки на відстані. Усі досі апробовані методи (у тому числі ЕЕГ, фМРТ й електроди на самому мозку) вимагають безпосереднього контакту з піддослідним.

Тим не менше, колись можуть бути прийняті закони, що обмежуватимуть несанкціоноване читання чужих думок. Крім того, можуть з'явитися пристрої, що захищатимуть наші думки за допомогою радіотехнічних перешкод, блокування чи шифрування наших електричних сигналів.

До справжнього читання думок ще багато десятків років. Однак, щонайменше, функціональний магнітно-резонансний томограф можна використовувати як примітивний детектор брехні. Коли людина говорить неправду, то в її мозку активується більше центрів, ніж коли вона каже правду. Говорити неправду означає знати правду, але думати про конкретну брехню і її численні наслідки, а це вимагає значно більше енергії, ніж якщо просто говорити правду. Відтак функціональний магнітно-резонансний томограф мав би бути здатний виявляти цю додаткову витрату енергії. Сьогодні наукова громада має деякі застереження щодо того, аби функціональні магнітно-резонансні детектори брехні мали вирішальне значення, особливо в судах. Ця технологія ще занадто нова, щоб стати абсолютно надійним методом розпізнавання брехні. Подальші дослідження, кажуть її прибічники, підвищать її точність. У майбутньому цю технологію неодмінно активно використовуватимуть.

Уже сьогодні дві комерційні компанії пропонують функціональні магнітно-резонансні детектори брехні, обіцяючи понад 90-відсоткову надійність. Один суд в Індії уже вирішив одну справу за допомогою фМРТ, і кілька справ із використанням фМРТ у цей час перебувають в американських судах.

Звичайні детектори брехні не вимірюють брехні; вони вимірюють тільки ознаки напруження, зокрема посилене потовиділення

(показником якого є рівень електропровідності шкіри) і пришвидшене серцебиття. Томографи мозку вимірюють підвищення активності мозку, однак зв'язок між останнім і брехнею ще треба остаточно довести, щоб можна було використовувати ці томографи в суді.

На те, щоб дослідити межі можливостей і точність функціональних магнітно-резонансних детекторів брехні, може піти багато років. Тим часом фундація Джона Д. та Кетрін Т. МакАртур нещодавно виділила грант сумою 10 мільйонів доларів США для проекту *Право і неврологія*, який має на меті з'ясувати, як неврологія вплине на законодавство.

## ЯК Я ПРОХОДИВ ФМРТ

Якось я сам проходив обстеження мозку на функціональному магнітно-резонансному томографі. Для одного документального фільму, який мали показувати на каналах *BBC* і *Discovery*, я полетів в Університет Дюка, де мене покладали на ноші й запхали у гігантський металевий циліндр. Коли ввімкнули величезний потужний магніт (у 20 000 разів сильніший за магнітне поле Землі), атоми у мене в мозку вирівнялися за цим магнітним полем, як дзиги, осі яких повернуті в одному напрямку. Тоді мені в мозок послали радіоімпульс, який перевернув деякі ядра моїх атомів догори ногами. Повернувшись знову в нормальну позицію, ці ядра емітували слабкий імпульс, або “луну”, яку вловив томограф. Проаналізувавши цю “луну”, комп'ютер опрацював сигнали, а тоді відтворив тривимірну карту мого мозку зсередини.

Увесь процес був абсолютно безболісний і нешкідливий. Радіація, що проникла в моє тіло, була неіонізуюча й не могла пошкодити клітин мого тіла, відірвавши атоми. Навіть перебуваючи в магнітному полі, що в тисячі разів сильніше за магнітне поле Землі, я не відчував анінайменших змін в організмі.

Метою мого перебування в функціональному магнітно-резонансному томографі було з'ясувати, в якому саме місці мозку з'являються деякі конкретні думки. Зокрема, у нашому мозку є крихітний біологічний “годинник” – якраз між очима, за носом – де мозок відлічує секунди й хвилини. Якщо травмувати цю делікатну частину мозку, то в людини спотворюється відчуття часу.

Коли я був усередині томографа, мене попросили відлічувати секунди й хвилини. Пізніше, коли знімки з томографа надрукували, я чіт-

ко побачив на них яскраву пляму просто за носом, яка з'явилась, коли я рахував секунди. Я усвідомив, що спостерігаю за народженням цілком нової ери біології: відстеженням точних місць у мозку, що пов'язуються з конкретними думками, – це одна з форм читання думок.

## ТРИКОДЕРИ І ПОРТАТИВНІ ТОМОГРАФИ МОЗКУ

У майбутньому функціональний магнітно-резонансний томограф не мусить бути таким велетенським пристроєм, як ті, що стоять у лікарнях сьогодні, – вагою кілька тон і завбільшки з ціле приміщення. Він може стати маленьким, як мобільний телефон чи навіть монета.

У 1993 році Бернгард Блюміх і його колеги, перебуваючи в Інституті дослідження полімерів імені Макса Планка, винайшли спосіб, як створити маленькі магнітно-резонансні томографи. Вони сконструювали пристрій з назвою *MRI-MOUSE* (*mobile universal surface explorer*), наразі завдовжки один фут, але це дає підстави сподіватися, що колись з'являться томографи розміром з кавове горнятко, які продаватимуть у супермаркетах. Це може створити революцію в медицині, оскільки люди зможуть самостійно робити магнітно-резонансну томографію просто в себе вдома. Блюміх передбачає, що не за горами той час, коли людина зможе проводити собі по шкірі власним томографом *MRI-MOUSE* і зазирати всередину свого тіла у будь-який момент дня. Комп'ютери аналізуватимуть готові знімки й визначатимуть діагноз. “Може, зрештою, щось таке, як трикодер із *Зоряного шляху*, з'явиться доволі скоро”, – підсумовує він.<sup>9</sup>

(Магнітно-резонансні томографи працюють за тим самим принципом, що й стрілки компаса. Синій кінець стрілки компаса миттєво вирівнюється за магнітним полем. Так само, коли тіло вміщають у магнітно-резонансний томограф, ядра атомів, як стрілки компаса, вирівнюються за магнітним полем. Тоді в тіло посилають радіоімпульс, який перевертає ці ядра догори ногами. Врешті-решт ядра повертаються в первинну позицію, посилаючи ще один радіоімпульс, або “луну”.) Ключ до міні-томографа – це його неоднорідні магнітні поля. Сучасні магнітно-резонансні томографи такі величезні тому, що тіло треба вмістити в дуже однорідне магнітне поле. Чим однорідніше це поле, тим чіткіший виходить знімок, який сьогодні може мати роздільну здатність до однієї десятої міліметра. Аби створити таке однорідне магнітне поле, фізики беруть дві великі котушки проводу (близько двох футів

у діаметрі) і розташовують їх паралельно. Це називають котушкою Гельмгольца; вона створює однорідне магнітне поле у просторі між двома котушками. Тіло людини розташовують на осі цих двох великих магнітів.

Однак якщо використовувати неоднорідні магнітні поля, то зображення виходить спотворене і від нього немає жодної користі. Це було проблемою магнітно-резонансних томографів багато десятків років. Але Блюміх вигадав хитрий спосіб, як компенсувати це спотворення, – треба посилати в об'єкт багато радіоімпульсів, а тоді фіксувати відповідну “луну”. Комп'ютери аналізують цю “луну” й коригують спотворення, зумовлене неоднорідними магнітними полями.

Сьогодні в портативному томографі Блюміха використовується маленький магніт у формі підкови з північним і південним полюсами на двох її кінцях. Цей магніт кладуть на пацієнта; пересуваючи його, можна зазирнути на кілька дюймів під шкіру. На відміну від стандартних магнітно-резонансних томографів, які споживають величезний обсяг енергії й мусять мати спеціальні електричні розетки, *MRI-MOUSE* споживає приблизно стільки ж енергії, як звичайна лампочка.

У своїх перших дослідах Блюміх клав *MRI-MOUSE* на гумові шини, бо вони м'які, як тканини людського тіла. Це могло б мати негайне комерційне застосування: швидке виявлення недоліків у товарах. Звичайні магнітно-резонансні томографи не можна застосовувати до об'єктів, що містять метал, – таких, як радіальні шини зі сталевим обідком. Томограф *MRI-MOUSE*, який створює тільки слабкі магнітні поля, не має таких обмежень. (Магнітне поле звичайного магнітно-резонансного томографа у 20 000 разів потужніше за магнітне поле Землі. Чимало медсестер і техніків зазнали серйозних травм, коли вмикалось магнітне поле і в них летіли металеві прилади. З *MRI-MOUSE* таких проблем немає.)

Портативний томограф не тільки ідеально підходить для дослідження об'єктів, що містять чорні метали; ним також можна обстежувати об'єкти, що надто великі й не поміщаються в стандартний магнітно-резонансний томограф, а також ті, які не можна переміщати з місця на місце. Наприклад, 2006 року томограф *MRI-MOUSE* з успіхом створив зображення нутрощів Етці – заледенілої мумії людини, яку знайшли в Альпах 1991 року. Пересуваючи по поверхні Етці магніт у формі підкови, науковцям удалося виявити в замерзлому тілі кілька різних шарів.

У майбутньому томограф *MRI-MOUSE* може стати навіть іще меншим – приблизно як мобільний телефон. Відтак обстежувати мозок, щоб прочитати чийсь думки, стане значно простіше. Врешті-решт магнітно-резонансний томограф може стати тонким, як монета, заледве помітним. Він може навіть скидатися на менш потужний електроенцефалограф, коли на голову одягають пластикову шапочку з численними електродами. (Якщо ви прикріпите ці портативні магнітно-резонансні диски до кінчиків пальців і прикладете їх до голови пацієнта, то це нагадуватиме процедуру злиття розумів, яку практикували вулканці в *Зоряному шляхові*.)

## ТЕЛЕКІНЕЗ І ВЛАДА БОГІВ

Кінцева мета цього процесу – досягнути телекінезу, тобто влади богів переміщати об'єкти самою думкою.

Наприклад, у фільмі *Зоряні війни Сила* – це таємниче поле, що пронизує галактику й вивільняє розумову силу лицарів-джедаїв, даючи їм змогу керувати об'єктами самою лише думкою. Світлові мечі, бластери й навіть цілі зоряні кораблі можна підняти за допомогою Сили; таким способом також можна керувати діями інших.

Однак нам не доведеться подорожувати до якоїсь далекої галактики, щоб опанувати цю силу. До 2100 року, зайшовши в приміщення, ми зможемо керувати комп'ютером самою думкою, а той, своєю чергою, керуватиме предметами навколо нас. Пересувати важкі меблі, переставляти предмети на письмовому столі, ремонтувати щось і т. д. – все це можна буде робити, просто думаючи про це. Це може виявитись доволі корисним для робітників, пожежників, астронавтів, солдатів – усіх тих, кому доводиться працювати з обладнанням, яке вимагає більше ніж дві руки. Це може також змінити нашу взаємодію зі світом. Ми зможемо їздити на велосипеді, вести автомобіль, грати в гольф, у бейсбол чи в якісь складні ігри, просто думаючи про це.

Переміщати предмети думкою може стати можливо за допомогою чогось такого, як надпровідники, які ми розглянемо докладніше в четвертому розділі. До кінця цього сторіччя фізикам, можливо, вдасться створити надпровідники, що функціонуватимуть при кімнатній температурі; це дасть змогу створити величезні магнітні поля, що не потребуватимуть багато енергії. Двадцяте сторіччя було епохою електрики; тим часом майбутнє може принести нам

надпровідники кімнатної температури, і це стане початком епохи магнетизму.

Створювати потужні магнітні поля сьогодні коштує дорого, але в майбутньому це може майже нічого не коштувати. Це дасть нам змогу зменшити тертя в наших потягах й автомобілях, що спричинить справжню революцію в сфері перевезень, і зменшити втрати електричної енергії при її передаванні на великі відстані. Крім того, це дасть нам змогу переміщати предмети силою думки. Вмістивши всередину різних предметів крихітні надпотужні магніти, ми зможемо переміщати їх майже як завгодно.

У близькому майбутньому ми вважатимемо, що у кожному предметі всередині є маленький чіп, який робить цей предмет “розумним”. У далекому майбутньому ми вважатимемо, що в кожному предметі всередині є маленький надпровідник, що може генерувати спалахи магнітної енергії, яких достатньо, аби переміщати цей предмет по приміщенню. Уявіть, наприклад, що всередині столу є надпровідник. Стандартно в цьому надпровіднику немає струму. Але якщо підімкнути слабенький електричний струм, то він може створити потужне магнітне поле, що здатне перетягнути стіл в інший кінець приміщення. Ймовірно, ми зможемо активувати думкою магніт, вмонтований у той чи інший предмет, і таким чином переміщати предмети.

У фільмі *Люди Ікс*, наприклад, групу злих мутантів очолює Магнето, який уміє переміщати величезні об'єкти, маніпулюючи їхніми магнітними властивостями. В одному епізоді він навіть пересуває силою розуму міст “Золота брама”. Але його можливості не безмежні. Приміром, йому складно переміщати пластик чи папір – тобто предмети, які не мають магнітних властивостей. (У кінці першого фільму *Люди Ікс* Магнето садять у в'язницю, зроблену повністю з пластику.)

У майбутньому надпровідники кімнатної температури можуть бути сховані всередині звичних предметів, навіть немагнітних. Якщо в такому об'єкті ввімкнути струм, то він стає магнітним, а отже, його можна переміщати зовнішнім магнітним полем, яке контролюється вашою думкою.

Крім того, ми зможемо управляти роботами й аватарами самою думкою. Це означає, що, як у фільмах *Сурогати* й *Аватар*, ми, ймовірно, зможемо керувати рухами наших двійників і навіть відчувати біль і тиск. Це може виявитись корисним, коли нам буде потрібне надлюдське тіло, аби поремонтувати щось у відкритому космосі чи рятувати людей у якихось надзвичайних ситуаціях. Мабуть, колись

наші астронавти зможуть залишатись на Землі, в безпеці, й управляти тілами-роботами, які летітимуть на Місяць. Ми розглянемо це докладніше в наступному розділі.

Варто також зазначити, що володіння такими телекінетичними можливостями не позбавлене ризиків. Як я вже згадував раніше, у фільмі *Заборонена планета* одна давня цивілізація, що випереджає нас на мільйони років, досягає своєї кінцевої мети – здатності керувати всім лише силою розуму. Один простий приклад їхніх технологій: вони створили пристрій, який уміє перетворювати думки на тривимірні зображення. Ви ставите цей пристрій собі на голову, уявляєте щось, і всередині пристрою матеріалізується тривимірне зображення. Хоча в далеких 1950-х роках цей пристрій видавався кіноглядачам чимось неймовірно футуристичним, він з'явиться в нас уже в наступні кілька десятків років. У цьому фільмі також був пристрій, за допомогою якого можна було піднімати важкі предмети енергією розуму. Проте ми знаємо, що на цю технологію не треба чекати мільйони років – вона вже є тут, наразі у вигляді іграшки. Ви прикладаєте до голови спеціальні електроди, іграшка вловлює електричні імпульси у вашому мозку й піднімає якийсь маленький предмет – зовсім як у фільмі. У майбутньому в багато ігор можна буде грати самою думкою. Команди гравців можуть бути зв'язані розумово так, що переміщатимуть м'яч самою думкою, й перемагатиме та команда, яка переміщатиме м'яч найвправніше.

Кульмінація *Забороненої планети* може спонукати нас задуматись. Попри свої могутні технології, інопланетяни загинули, бо не зауважили у своїх планах одного недоліку. Їхні потужні пристрої вловлювали не тільки свідомі думки, а й підсвідомі бажання. Дикі, довго тамовані думки з їхнього давнього жорстокого, доцивілізаційного минулого ожили, й машини перетворили кожний підсвідомий кошмар на дійсність. На порозі свого найвищого досягнення ця потужна цивілізація була зруйнована тією самою технологією, яка мала дати їм необмежену владу.

Однак для нас наразі така небезпека існує хіба що у віддаленій перспективі. Пристрій такого рівня не з'явиться раніше двадцять другого сторіччя. Проте значно швидше ми можемо зіткнутися з іншою проблемою. До 2100 року ми житимемо в світі, заповненому роботами з людськими рисами. Що буде, якщо вони стануть розумнішими за нас?



Чи успадкують Землю роботи? Так, але це будуть наші діти.

– МАРВІН МІНСКІ

## 2 МАЙБУТНЄ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

### *Становлення роботів*

Міфічні боги з їхньою божественною владою вміли оживляти неживі предмети. У Біблії в Книзі Буття сказано, що Бог створив людину з порохи земного і тоді “дихання життя вдихнув у ніздрі її, – і стала людина живою душею”. Згідно з грецькою і римською міфологією, богиня Венера вміла оживляти статуї. Змилувавшись над скульптором Пігмаліоном, який безнадійно закохався у власну статую, Венера здійснила його найзаповітніше бажання й перетворила статую на прекрасну жінку Галатею. Бог Вулкан, покровитель ковальства, викував із металу й оживив цілу армію механічних слуг.

Ми сьогодні, як той Вулкан, куємо в наших лабораторіях пристрої, що вдихають життя – але не в глину, а в сталь і кремній. Але чи дасть це людству свободу, чи поневолить його? Якщо почитати заголовки в сучасних медіях, то складається враження, що це питання вже вирішене: людський рід от-от перевершить його ж власне творіння.

## КІНЕЦЬ ЛЮДСТВА?

Усе стає зрозуміло з одного заголовку в *New York Times*: “Науковці непокояться, що машини можуть стати розумнішими за людей”.<sup>1</sup> 2009 року провідні світові фахівці у сфері штучного інтелекту зібралися на Асиломарській конференції в Каліфорнії, аби серйозно обговорити, що станеться, якщо машини таки нас перевершать. Наче в сцені з голлівудського фільму, делегати ставили контрольні запитання на кшталт: “Що буде, якщо робот стане таким самим розумним, як ваша дружина?”

Як переконливі аргументи на користь цієї революції в сфері роботизації люди згадували літак *Predator* (безпілотний літак-робот, що зараз веде прицільну стрілянину по терористах в Афганістані й Пакистані з абсолютною точністю), автомобілі, що їдуть самі, а також робота *ASIMO* – найдосконалішого робота в світі, що вміє ходити, бігати, підніматися сходами, танцювати і навіть подавати каву.

Ерік Горвіц із корпорації *Microsoft*, один з організаторів конференції, спостерігаючи за загальним збудженням, сказав: “Технологи створюють майже релігійні видіння, і їхні ідеї в якомусь сенсі перегукуються з ідеєю Вознесіння”.<sup>2</sup> (Вознесіння – це коли праведники потраплять на небо при Другому Пришестві. Критики назвали атмосферу Асиломарської конференції “вознесінням ідіотів”.)

Того літа найпопулярніші кінофільми, здавалося, ще більше підсилювали цю апокаліптичну картину. У фільмі *Термінатор: Хай прийде рятівник* група людей бореться з величезними механічними чудовиськами, що захопили Землю. У фільмі *Трансформери: Помста полеглих* футуристичні роботи з космосу використовують людей як пішаків, а Землю – як поле битви для своїх міжзоряних війн. У фільмі *Сурогати* люди воліють прожити життя як досконалі, гарні роботи-сурогати, радше ніж миритися зі своїми старіючими тлінними тілами.

Якщо вірити газетним заголовкам і кіноафішам, то складається враження, що кінець людства вже зовсім близько. Експерти зі штучного інтелекту запитують з усією серйозністю: Чи не доведеться нам колись танцювати в клітках, а наші дітища-роботи тим часом кидатимуть нам горішки, так само, як ми сьогодні кидємо їх ведмедям у зоопарку? А може, ми станемо для наших творінь такими собі кімнатними песиками?

Однак якщо поглянути на це уважніше, то насправді все ще не зайшло аж так далеко, як може здаватися. Звичайно, за останні десять років відбулися величезні зміни, але не треба перебільшувати їхнього значення.

Літак *Predator*, безпілотний винищувач довжиною 27 футів, що стріляє по терористах смертоносними ракетами, функціонує не самотійно – ним керує людина з джойстиком. Людина – найімовірніше якийсь молодий любитель відеоігор – зручно сидить перед комп'ютерним екраном й обирає мішені. Саме ця людина, а не літак, приймає всі рішення. Так само й безпілотні автомобілі, скануючи середовище й повертаючи кермо, не приймають рішення самотійно; вони дотримуються карти GPS, що закладена в їхню пам'ять. Отже, кошмар у вигляді повністю автономних, свідомих і агресивних роботів залишається в далекому майбутньому.

Хоча журналісти й "роздули" деякі сенсаційні передбачення, висловлені на Асиломарській конференції, більшість науковців-практиків, що працюють над штучним інтелектом зо дня в день, були значно стриманіші й обережніші у своїх прогнозах. На запитання, коли роботи стануть такими ж розумними, як ми, ці науковці давали дивовижно різні відповіді, починаючи від 20 і закінчуючи 1000 років.

Треба розрізнати два типи роботів. Перший – це роботи, якими дистанційно керує людина або які запрограмовані, як магнітофон, щоб виконувати чіткі команди. Ці роботи вже існують, і це про них пишуть у газетах. Вони поступово з'являються в наших оселях, а також у зонах конфліктів. Однак без людини, яка ухвалює всі рішення, ці роботи – здебільшого нікчемні шматки брухту. Тому їх не треба плутати з роботами другого типу – такими, що можуть думати самотійно й не потребують команд від людини. Власне такі автономні роботи впродовж минулих п'ятдесяти років не вдавалися науковцям.

## РОБОТ ASIMO

Як наочний доказ революційного поступу в сфері робототехніки, розробники штучного інтелекту часто називають робота компанії *Хонда* на ім'я *ASIMO* (*Advanced Step in Innovative Mobility*). Він має висоту 4 фути і 3 дюйми, важить 119 фунтів і схожий зовні на хлопця-підлітка у шоломі з чорним козирком і ранцем. *ASIMO* справді чудо-

вий: він уміє ходити, бігати, підніматися сходами й розмовляти – майже як людина. Він може ходити кімнатами, піднімати чашки й підноси, реагувати на деякі прості команди і навіть упізнавати деякі обличчя. Він має великий запас слів і вміє говорити різними мовами. *ASIMO* – це результат двадцяти років наполегливої праці великої кількості науковців компанії *Хонда*, які створили це чудо інженерії.

Я два рази мав честь особисто спілкуватися з *ASIMO* на конференціях, коли виступав ведучим на науково-популярних програмах на телеканалах *BBC* і *Discovery*. Коли я потиснув йому руку, він відреагував зовсім як людина. Я помахав йому рукою – він одразу помахав мені у відповідь. А коли я попросив його принести мені соку, він повернувся й пішов до столу з напоями дивовижно людською ходою. Справді, *ASIMO* так схожий на людину, що коли він заговорив, я наполовину очікував, що зараз робот зніме шолом і під ним виявиться хлопець, майстерно захований усередині. Він навіть уміє танцювати краще за мене.

На перший погляд здається, що *ASIMO* – розумний, уміє реагувати на людські команди, підтримувати розмову й ходити по кімнаті. Насправді ж усе зовсім не так. Коли я спілкувався з *ASIMO* перед телевізійною камерою, кожний його рух, кожний нюанс ретельно програмували. Фактично, на те, аби зняти просту п'ятихвилинну сцену з *ASIMO*, пішло близько трьох годин. І навіть у цьому випадку потрібна була ціла команда операторів, які несамовито перепрограмували роботу на своїх лептопах після кожного знятого епізоду. Хоч *ASIMO* розмовляє різними мовами, насправді це магнітофон відтворює записані тексти. Він просто механічно повторює те, що запрограмувала людина. Хоч *ASIMO* з року в рік стає дедалі досконаліший, він не здатний думати самостійно. Кожне слово, кожний жест, кожний крок оператори *ASIMO* мусять ретельно прорепетирувати.

Опісля я мав відверту розмову з одним із винахідників *ASIMO*, і той мені зізнався, що попри дивовижно людські рухи й дії *ASIMO* має інтелект комахи. Більшість його рухів треба було ретельно програмувати наперед. Він може ходити зовсім як живий, але його траєкторію треба ретельно запрограмувати, бо інакше він натикатиметься на меблі, оскільки насправді не вміє розпізнавати об'єктів у приміщенні.

Для порівняння, навіть тарган уміє розпізнавати об'єкти, оминати перешкоди, шукати їжу й партнера, уникати хижаків, планувати складні маршрути втечі, ховатися поміж тіней і зникати у щілинах, і все це для нього – справа кількох секунд.

Розробник штучного інтелекту Томас Дін з Університету Брауна визнав, що незграбні роботи, яких він конструює, перебувають “лише на тій стадії, коли вони достатньо вправні, щоб пройти коридором, не залишивши величезних дір у штукатурці”.<sup>3</sup> Як ми побачимо пізніше, сьогодні наші найпотужніші комп’ютери заледве можуть імітувати нейрони миші, і то лише кілька секунд. Потрібно ще багато десятиріч наполегливої праці, щоб роботи стали такими розумними, як миша, кролик, собака чи кішка, а згодом – як мавпа.

## ІСТОРІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Критики іноді звертають увагу на одну закономірність: що тридцять років творці штучного інтелекту заявляють, що суперрозумні роботи от-от у нас з’являться. Потім дійсність це спростовує, і загальний інтерес до теми штучного інтелекту спадає.

У 1950-х роках, коли вперше з’явилися електронні комп’ютери після Другої світової війни, науковці приголомшили громадськість ідеєю про машини, що можуть виконувати дивовижні трюки: піднімати будівельні блоки, грати в шашки і навіть розв’язувати задачі з алгебри. Здавалося, що по-справжньому розумні машини не за горами. Публіка була вражена; і невдовзі в популярних журналах з’явилися статті, що захоплено передбачали той час, коли робот буде в кожній кухні: він варитиме обід чи прибиратиме в будинку. У 1965 році піонер штучного інтелекту Герберт Саймон проголосив: “Не пізніше, як за двадцять років машини зможуть виконувати будь-яку роботу, яку виконує людина”.<sup>4</sup> Але дійсність виявилась іншою. Шахові машини не могли виграти в експерта-людини й уміли грати тільки в шахи і в ніщо більше. Ці перші роботи нагадували таку собі “конячку, навчену виконувати лише один трюк”.

Дійсно, в 1950-х роках у сфері штучного інтелекту відбулися справжні прориви, але через те, що цей поступ дуже перебільшували й надто “роздували”, за якийсь час настала зворотна реакція. У 1974 році під хор дедалі гострішої критики американський і британський уряди урізали фінансування. Для штучного інтелекту настала перша “зима”.

Сьогодні дослідник штучного інтелекту Пол Абрагамс хитає головою, коли озирається на ті бурхливі часи в 1950-х роках, коли він був аспірантом у Массачусетському технологічному інституті і все

здавалося можливим. Він згадує: “Це було так, наче група людей запропонувала збудувати вежу до Місяця. Щороку вони з гордістю показують, наскільки вищою стала вежа порівняно з минулим роком. Біда от тільки в тому, що до Місяця зовсім не стає ближче”.<sup>5</sup>

У 1980-х роках інтерес до штучного інтелекту знову зріс. Цього разу Пентагон вбухав мільйони доларів у такі проекти, як “розумна військова машина”, що мала прорвати оборону противника, провести розвідку, врятувати американських солдатів і повернутися до штаб-квартири – і все це повністю самостійно. Уряд Японії з усією рішучістю підтримав амбітний проект *Комп’ютерні системи п’ятого покоління*, організований потужним японським міністерством міжнародної торгівлі і промисловості. Метою цього проекту було, окрім іншого, створити комп’ютерну систему, яка б уміла розмовляти побутовою мовою, логічно мислити і навіть передбачати наші бажання – і все це до 1990-х років.

Прикро, але єдине, що зробила “розумна військова машина”, – то це заблукала. І проект *Комп’ютерні системи п’ятого покоління*, після всіх гучних заяв, тихо припинили без пояснень. Риторика знову значно перевершила дійсність. Фактично, у 1980-х роках у сфері штучного інтелекту були реальні досягнення, але через те, що поступ знову занадто “роздули”, за якийсь час інтерес знову охолов і для штучного інтелекту настала друга “зима”; фінансування знову припинилось, і розчаровані люди масово покидали цю сферу. Стало до болю очевидно, що чогось тут бракує.

У 1992 році дослідники штучного інтелекту мали змішані почуття, коли влаштували спеціальне святкування на честь фільму *2001*, у якому комп’ютер із назвою *HAL 9000* виходить з-під контролю і вбиває екіпаж космічного корабля. У цьому фільмі, який зняли 1968 року, передбачалось, що до 1992 року з’являться роботи, які вільно розмовлятимуть із будь-якою людиною на будь-яку тему, а також керуватимуть космічним кораблем. На жаль, було до болю очевидно, що найдосконаліші роботи не дотягують навіть до інтелекту комахи.

У 1997 році шаховий суперкомп’ютер компанії *IBM* під назвою *Deep Blue* зробив історичний прорив, переконливо вигравши у світового чемпіона з шахів Гаррі Каспарова. *Deep Blue* був дивом інженерії, він здійснював 11 мільярдів обчислень на секунду. Однак замість того, щоб відкрити шлях для досліджень штучного інтелекту й започаткувати нову епоху, *Deep Blue* зробив прямо протилежне. Він продемонстрував тільки примітивність розробок у сфері штуч-

ного інтелекту. Після недовгих роздумів багатьом стало очевидно, що *Deep Blue* не вмів думати. Він був неперевершений у шахах, але в тесті на IQ одержав би 0 балів. Після цієї перемоги з журналістами розмовляв тільки переможений Каспаров, оскільки *Deep Blue* взагалі не вмів розмовляти. Розробники штучного інтелекту почали неохоче визнавати, що сама лише обчислювальна потужність не дорівнює інтелекту. Розробник штучного інтелекту Річард Геклер сказав: “Сьогодні можна купити за 49 доларів шахові програми, що виграють навіть у чемпіонів світу, але ніхто не вважає їх розумними”.<sup>6</sup>

Однак закон Мура кожні вісімнадцять місяців дає нам нові покоління комп’ютерів – отже, рано чи пізно старий песимізм минулого покоління науковців поступово забудеться і йому на зміну прийде нове покоління талановитих ентузіастів, що відродять оптимізм і енергію у цій колись занедбаній сфері. За тридцять років від початку останньої “зими” в царині штучного інтелекту комп’ютери істотно вдосконалились, і нове покоління дослідників штучного інтелекту вже знову висловлює оптимістичні прогнози на майбутнє. Час штучного інтелекту нарешті настав, кажуть його прибічники. Цього разу це по-справжньому. Третя спроба напевно буде успішною. Але якщо вони мають рацію, то чи означає це, що люди незабаром стануть “застарілою моделлю”?

## ЧИ МОЗОК – ЦЕ ЦИФРОВИЙ КОМП’ЮТЕР?

Одна фундаментальна проблема, як тепер розуміють математики, полягає в тому, що п’ятдесят років тому вони зробили фатальну помилку, вирішивши, що мозок аналогічний великому цифровому комп’ютеру. Сьогодні до болю очевидно, що це не так. Мозок – це не чіп *Pentium*, не операційна система *Windows*, не програмне забезпечення, не центральний процесор, не програмування й не підпрограми – все, що типове для сучасного цифрового комп’ютера. Насправді, архітектура цифрових комп’ютерів цілком відрізняється від архітектури мозку, який є своєрідною машиною, що сама вчиться, набором нейронів, який оновлює свої електричні зв’язки щоразу, як вчиться чогось нового. (Тим часом комп’ютер узагалі не вчиться. Ваш комп’ютер сьогодні такий самий тупий, як і вчора.)

Отже, є принаймні два підходи до моделювання мозку. Перший – традиційний підхід “згори донизу” – означає трактувати роботів як

цифрові комп'ютери й програмувати всі правила здорового глузду від самого початку. Цифровий комп'ютер, своєю чергою, можна розглядати як так звану машину Тюрінга – гіпотетичний пристрій, що його винайшов великий британський математик Алан Тюрінг. Машина Тюрінга складається з трьох основних компонентів: вводу, центрального процесора, що обробляє введені дані, і виводу. Всі цифрові комп'ютери ґрунтуються на цій простій моделі. Мета цього підходу – створити компакт-диск з усіма правилами здорового глузду. Якщо цей диск вставити в комп'ютер, той відразу оживе й стане розумним. Відтак цей міфічний компакт-диск мав би містити все програмне забезпечення, яке потрібне, щоб створити розумні машини.

Проте наш мозок узагалі не має ні програмування, ні програмного забезпечення. Наш мозок більше схожий на “нейронну мережу” – складну плутанину нейронів, що постійно оновлює свої електричні зв'язки.

Нейронні мережі дотримуються правила Гебба: щоразу, як прийнято правильне рішення, відповідні нейронні траєкторії підсилюються. Мозок це робить, просто змінюючи силу певних електричних зв'язків між нейронами щоразу, як успішно виконає якесь завдання. (Правило Гебба можна проілюструвати відомим старим запитанням: Як музиканту потрапити в Карнегі-холл? Відповідь: практика, практика, практика. Для нейронної мережі практика – ідеальний спосіб навчання. Правило Гебба також пояснює, чому так важко позбутися поганих звичок: нейронна траєкторія для поганої звички надто добре відшліфована.)

Нейронні мережі ґрунтуються на підході “знизу догори”. Замість того, щоб одержати всі правила здорового глузду в готовому вигляді, нейронні мережі вчать так само, як вчиться дитина – методом проб і помилок. Нейронні мережі ніхто не програмує, натомість вони вчать старомодним способом – “набиваючи гулі”.

Нейронні мережі мають зовсім іншу архітектуру, ніж цифрові комп'ютери. Якщо з центрального процесора цифрового комп'ютера вилучити один-єдиний транзистор, комп'ютер не працюватиме. Однак якщо вилучити великі частини людського мозку, той усе одно функціонуватиме – функції вилучених частин візьмуть на себе частини, що залишилися. Крім того, можна точно визначити те місце, де цифровий комп'ютер “думає”, – це центральний процесор. Тим часом знімки людського мозку чітко показують, що процес мислення поширюється на великі частини мозку. Різні сегменти “спалахують” у чіткій послідовності – так наче думки перекидаються з місця на місце, як тенісний м'ячик.



Цифрові комп'ютери можуть здійснювати обчислення майже зі швидкістю світла. Людський мозок, навпаки, неймовірно повільний. Нервові імпульси переміщуються зі страшенно малою швидкістю – 200 миль за годину. Але мозок це компенсує з лихвою – він виконує операції паралельно: 100 мільярдів нейронів працюють одночасно, кожний проводить одне маленьке обчислення, і кожний з'єднаний з 10 000 інших нейронів. За ефективністю надшвидкий непаралельний процесор значно поступається надповільному паралельному процесорові. (Це як у відомій старій загадці: якщо один кіт з'їдає одну мишу за одну хвилину, то за скільки часу мільйон котів з'їдять мільйон мишей? Відповідь: за одну хвилину.)

До того ж мозок не цифровий. Транзистори – це ворота, що можуть бути або відчинені, або зачинені, що представляється як 1 або 0. Нейрони теж цифрові (вони можуть збуджуватись або не збуджуватись), але вони можуть бути й аналоговими – передавати неперервні сигнали так само, як і дискретні.

## **ДВІ ПРОБЛЕМИ З РОБОТАМИ**

Ураховуючи кричущі недоліки комп'ютерів порівняно з людським мозком, можна зрозуміти, чому комп'ютери досі не опанували двох простих речей, що для людей не становлять жодної складності: вміння розпізнавати образи і здорового глузду. Науковці марно намагались розв'язати ці дві проблеми впродовж минулих п'ятдесяти років. Це основна причина, чому в нас досі немає роботів-слуг, роботів-швейцарів чи роботів-секретарів.

Перша проблема – розпізнавання образів. Роботи бачать краще за людей, але вони не розуміють того, що бачать. Заходячи в приміщення, робот перетворює зображення на суміш точок. Обробивши ці точки, він може розпізнати прямі лінії, кола, квадрати й прямокутники. Тоді робот намагається зіставити це все, об'єкт за об'єктом, з тими об'єктами, що записані в нього в пам'яті, – це надзвичайно трудомістка задача навіть для комп'ютера. Після кількогодинних обчислень робот, можливо, й упізнає в цих об'єктах стільці, столи й людей. Ми ж, заходячи в приміщення, розпізнаємо стільці, столи й людей за якусь частку секунди. Справді, наш мозок – це здебільшого машина для розпізнавання образів.

По-друге, роботи не мають здорового глузду. Хоч роботи чують значно краще за людей, вони не розуміють того, що чують. Наприклад, візьмімо такі твердження:

- Діти люблять солодощі і не люблять покарання
- Участь можна брати, але не можна давати
- Прочухана можна давати, але не можна брати
- Тварини не вміють розмовляти й не розуміють англійської мови
- Від кружляння паморочиться в голові

Для нас кожне з цих тверджень – просто вияв здорового глузду. Але не для роботів. Немає жодної логіки чи алгоритму, які б доводили, що участь можна брати, але не можна давати. Ми засвоїли істинність цих “очевидних” тверджень через досвід, а не тому, що вони запрограмовані в нашу пам’ять.

Проблема підходу “згори донизу” полягає в тому, що здоровий глузд, який потрібний, щоб імітувати людське мислення, містить надто багато рядків програмного коду. Приміром, аби описати закони здорового глузду, що відомі шестирічній дитині, треба сотні мільйонів рядків програмного коду. Ганс Моравек, колишній директор лабораторії штучного інтелекту в Університеті Карнегі-Меллона, бідкається: “До сьогодні програми штучного інтелекту не виявляють жодних ознак здорового глузду – програма медичного діагностування, наприклад, може рекомендувати антибіотик, коли їй покажуть зламаний велосипед, тому що в цій програмі немає моделей людей, хвороб чи велосипедів”.<sup>7</sup>

Однак дехто з науковців уважає, що єдина перешкода на шляху до опанування штучного інтелекту – це груба сила. Їм здається, що новий Мангеттенський проект – на подобу того, що створив атомну бомбу – неодмінно подолав би проблему здорового глузду. Інтенсивна програма, призначена створити цю “енциклопедію думки”, має назву *СУС* і розпочалась 1984 року. Це мало стати найвищим досягненням у сфері штучного інтелекту, проектом, що закодує всі таємниці здорового глузду в єдиній програмі. Однак минуло кілька десятиріч, а завдання проекту *СУС* так і не виконані.

Мета проекту *СУС* проста: опанувати “100 мільйонів тверджень – приблизно стільки знає про світ середньостатистична людина – до 2007 року”.<sup>8</sup> Цей термін, як і багато попередніх, минув непомітно без особливого успіху. Усі віхи, що їх визначали інженери проекту *СУС*, залишились позаду, а науковці так ні на йоту й не наблизились до опанування сутності інтелекту.

## ЛЮДИНА ПРОТИ МАШИНИ

Якось я мав нагоду помірятись інтелектом з роботом. Цього робота створив Томазо Поджіо з Массачусетського технологічного інституту. Хоч роботи не вміють розпізнавати простих образів – так, як це вміємо ми – Поджіо вдалося створити комп'ютерну програму, яка проводить обчислення так само швидко, як людина, в одній конкретній сфері: “миттєве розпізнавання”. Ми маємо незбагненну здатність миттєво впізнавати об'єкти, навіть іще не усвідомлюючи цього. (Це вміння було важливим у процесі нашої еволюції: нашим предкам доводилось визначати лише за якусь частку секунди – навіть іще повністю не усвідомивши цього – чи це тигр причаївся в кущах, чи хтось інший.) Уперше в тесті на розпізнавання образів робот стабільно випереджав людину.

Суть цього змагання між мною й машиною була проста. Спочатку я сидів на стільці й дивився на звичайний комп'ютерний екран. Тоді на екрані на якусь частку секунди з'являлась картинка, і я мусив якнайшвидше натиснути одну з двох клавіш залежно від того, чи побачив я на екрані тварину, чи ні. Я мусив прийняти рішення якомога швидше, навіть іще повністю не усвідомивши суті картинки. Комп'ютер теж мав прийняти рішення щодо тієї самої картинки.

Трохи ніяково це визнавати, але після низки тестів, що швидко слідували один за одним, з'ясувалось, що ми з машиною виконуємо завдання приблизно одночасно. Проте моментами машина істотно мене випереджала. Отже, машина мене перемогла. (Єдиною втіхою було те, що мені сказали, що комп'ютер дає правильну відповідь у 82 відсотках разів, а люди в середньому у 80.)

Ключ до робота Томазо Поджіо – це те, що він копіює уроки в Матінки Природи. Багато науковців усвідомлює істинність твердження: “Велосипед уже винайшли, то чом би його не скопіювати?” Наприклад, коли якийсь стандартний робот дивиться на картинку, то він намагається розбити її на прямі лінії, кола, квадрати й інші геометричні фігури. Проте програма Поджіо інакша. Коли ми дивимось на картину, то можемо спочатку бачити контури різних об'єктів, тоді різноманітні деталі всередині кожного об'єкта, тоді відтінки в самих цих деталях і т. д. Тобто ми розбиваємо зображення на багато шарів. Як тільки комп'ютер Поджіо опрацює один шар зображення, він інтегрує його з наступним шаром і т. д. Таким способом – крок за

кроком, шар за шаром – він імітує ту ієрархічну процедуру, за якою опрацьовує зображення мозок людини. (Програма Поджіо не вміє виконувати всіх трюків з розпізнавання образів, які ми приймаємо за належне, – зокрема візуалізувати об'єкти в трьох вимірах, розпізнавати тисячі об'єктів під різними кутами тощо – але вона все одно знаменує серйозний етап у комп'ютерному розпізнаванні образів.)

Пізніше я мав нагоду побачити обидва підходи – і “згори донизу”, і “знизу догори” – в дії. Спочатку я поїхав у центр штучного інтелекту Стенфордського університету, де познайомився з роботом *STAIR* (*Stanford artificial intelligence robot*), що використовує підхід “згори донизу”. *STAIR* близько 4 футів заввишки і має величезну механічну руку, що може обертатись і хапати предмети зі стола. Крім того, *STAIR* мобільний, тобто може пересуватись офісом чи помешканням. Цей робот має стереоскопічну камеру, що “захоплює” об'єкт і посилає його тривимірне зображення в комп'ютер; комп'ютер скеровує механічну руку, й та хапає відповідний об'єкт. Подібним способом роботи хапають об'єкти від 1960-х років, таких роботів можна побачити в Детройті на автомобільних заводах.

Однак зовнішність буває оманлива. *STAIR* уміє значно більше. На відміну від роботів у Детройті, *STAIR* не дотримується якогось наперед визначеного сценарію. Він функціонує самостійно. Якщо попросити його взяти, наприклад, апельсин, то він може проаналізувати всі об'єкти на столі, зіставити їх з тисячами зображень, що записані в його пам'яті, тоді розпізнати апельсин і взяти його. До того ж він може розпізнавати об'єкти точніше, піднімаючи їх і обертаючи різними боками.

Аби випробувати його можливості, я попересував кілька предметів на столі й тоді попросив його взяти один конкретний предмет, а сам спостерігав, що він робитиме. Я побачив, як *STAIR* правильно проаналізував новий порядок на столі, тоді простягнув руку і схопив названий предмет. Остаточна мета цього проекту полягає в тому, щоб навчити *STAIR* пересуватися в умовах помешкання й офісу, брати різні предмети й інструменти і навіть розмовляти з людьми якоюсь спрощеною мовою. Таким чином, він зможе виконувати все, що робить в офісі хлопчик на побігеньках. *STAIR* – це приклад підходу “згори донизу”: в ньому все запрограмовано від самого початку. (Хоч *STAIR* уміє розпізнавати об'єкти під різним кутом, усе ж число цих об'єктів обмежене. Якби йому довелося вийти на вулицю й розпізнавати випадкові об'єкти, він би вмить “розгубився”.)

Пізніше мені випала нагода побувати в Нью-Йоркському університеті, де Ян ЛеКун експериментує з зовсім іншою моделлю, що має назву *LAGR* (*learning applied to ground robots*). *LAGR* – це приклад підходу “знизу догори”: цей робот мусить учитися всього з нуля, методом проб і помилок. Він завбільшки з невеличкий гольф-кар і має дві стереоскопічні кольорові камери, що сканують середовище й визначають об’єкти на його шляху. Робот пересувається поміж цими об’єктами, старанно їх оминаючи, і вчиться з кожним новим проїздом. Він оснащений системою GPS і двома сенсорами інфрачервоного діапазону, що можуть виявляти об’єкти, які з’являються перед ним. Він містить три високопотужні процесори *Pentium* і під’єднаний до мережі *Ethernet* в один гігабіт. Ми пішли в парк неподалік, де робот *LAGR* міг кружляти довкола різних перешкод, що траплялися йому на шляху. З кожною новою спробою він оминав ці перешкоди краще й краще.

Важлива відмінність між роботами *LAGR* і *STAIR* полягає в тому, що *LAGR* спеціально спроектований так, щоб учитися. Щоразу, як *LAGR* на щось натикається, він об’їжджає цей об’єкт і вчиться оминати його в майбутньому. Тимчасом як *STAIR* має в пам’яті тисячі зображень, *LAGR* навряд чи взагалі має в пам’яті якісь зображення, але натомість він створює своєрідну ментальну карту всіх перешкод, які йому трапляються, і постійно, з кожним проїздом, удосконалює цю карту. На відміну від безпілотного автомобіля, що запрограмований і дотримується маршруту, попередньо визначеного системою GPS, *LAGR* рухається повністю самостійно, без жодних вказівок від людини. Ви кажете йому, куди їхати, і він рушає. Колись такі роботи можуть опинитись на Марсі, у зонах конфліктів і в наших оселях.

З одного боку, мене вразило завзяття й енергія цих дослідників. Глибоко в душі вони переконані, що закладають основи штучного інтелекту і що колись їхня праця змінить суспільство таким способом, який сьогодні ми можемо тільки починати розуміти. Проте, перебуваючи на певній дистанції від них, я також усвідомлював, який довгий шлях лежить перед ними. Навіть таргани вміють упізнавати об’єкти й оминати їх. Ми досі перебуваємо на тому етапі, коли найпримітивніші творіння Матінки Природи перевершують за інтелектом наших найрозумніших роботів.

## БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)

### ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ

Сьогодні багато людей мають удома простих роботів, які можуть чистити їм килими. Крім того, є роботи-охоронці, що охороняють уночі будинки, роботи-екскурсоводи й роботи – робітники на заводах. Підраховано, що 2006 року в приватних будинках і на підприємствах всього було 950 000 промислових роботів і 3 540 000 обслуговуючих роботів.<sup>9</sup> У наступні кілька десятків років сфера робототехніки може розвинути у кількох напрямках. Проте ці роботи виглядатимуть не так, як у науково-фантастичних фільмах.

Найвідчутніше можуть змінитись так звані експертні системи – комп'ютерні програми, в яких закодовано мудрість і досвід людини. Як ми побачили в попередньому розділі, колись, імовірно, ми звертатимемося до інтернету на наших настінних екранах і розмовлятимемо з привітним обличчям робота-лікаря чи робота-юриста.

Цю сферу називають евристикою, і суть її полягає в дотриманні формальної системи правил. Коли нам треба буде спланувати відпустку, ми звернемося до обличчя на настінному екрані й назвемо йому бажані параметри: на скільки часу, куди, які готелі, діапазон цін. Експертна система вже знатиме наші вподобання з минулого досвіду; вона сконтактується з готелями, авіакомпаніями тощо й запропонує нам найкращі варіанти. Однак ми розмовлятимемо з нею не в розмовному, невимушеному стилі, а доволі формальною, правильною мовою, яку вона розумітиме. Така система може швидко виконати скільки завгодно корисних завдань. Ви тільки даєте їй вказівки – і вона бронює вам ресторан, з'ясовує розташування крамниць, замовляє продукти в супермаркеті та їжу в ресторані, резервує квиток на літак і т. д.

Саме завдяки досягненням у сфері евристики, що відбулися впродовж кількох минулих десятиріч, ми сьогодні маємо деякі доволі прості пошукові системи. Проте наразі вони ще примітивні. Для всіх очевидно, що ми маємо справу з машиною, а не з людиною. Однак у майбутньому роботи стануть такі досконалі, що їх непросто буде відрізнити від людини; вони функціонуватимуть плавно і вправно.

Мабуть, найефективніше евристику застосовуватимуть у медицині. Приміром, сьогодні, якщо ви занедужали, то, можливо, вам дове-

деться чекати на лікаря в приймальні служби невідкладної медичної допомоги кілька годин. У близькому майбутньому ви зможете просто підійти до настінного екрану й поговорити з лікарем-роботом. Ви зможете змінити обличчя цього лікаря й навіть його характер простим натисканням кнопки. Привітне обличчя на настінному екрані поставить вам кілька простих запитань: Як ви почуваєтесь? Де вам болить? Коли з'явився біль? Як часто він виникає?

Щоразу ви відповідатимете, вибираючи одну з кількох простих відповідей. Ви не друкуватимете відповіді на клавіатурі, а просто вимовлятимете їх.

Кожна з ваших відповідей, своєю чергою, підказуватиме наступний набір запитань. Після низки таких запитань робот-лікар зможе поставити вам діагноз, спираючись на досвід найкращих лікарів світу. Крім того, робот-лікар проаналізує дані з вашої ванної кімнати, вашого одягу й меблів, які постійно стежитимуть за вашим здоров'ям за допомогою ДНК-чипів. А ще робот-лікар може попросити вас обстежити тіло портативним магнітно-резонансним томографом; результати цього обстеження пізніше проаналізують суперкомп'ютери. (Деякі примітивні версії цих евристичних програм уже існують – наприклад, WebMD – але вони ще не використовують усіх можливостей евристики.) Таким чином, більшість візитів до лікаря стануть непотрібні, й це істотно зменшить навантаження на нашу систему охорони здоров'я. Якщо проблема виявиться серйозною, то робот-лікар порадить вам звернутися в лікарню, де лікарі-люди зможуть надати вам належну допомогу. Але навіть там ви побачите програми штучного інтелекту у вигляді роботів-медсестер, таких, як *ASIMO*. Ці роботи-медсестри не будуть по-справжньому розумні, однак умітимуть переміщатися з однієї палати до іншої, давати хворим відповідні медикаменти й задовольняти інші їхні потреби. Вони пересуватимуться на рейках, вмонтованих у підлогу, або ж самостійно, як *ASIMO*.

Один робот-медбрат, що вже існує, – це мобільний робот *RP-6*, якого використовують, зокрема, в медичному центрі Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі. Фактично, це телевізійний екран, встановлений на мобільному комп'ютері, який пересувається на роликах. На цьому екрані ви бачите обличчя справжнього терапевта, який може перебувати за багато миль від вас. Робот оснащений відеокамерою, завдяки якій лікар бачить те, на що дивиться робот. Крім того, там є мікрофон, так що лікар може розмовляти з

пацієнтом. Лікар може дистанційно керувати роботом за допомогою джойстика, спілкуватися з пацієнтами, контролювати прийом ліків тощо. Щорічно відділення інтенсивної терапії у Сполучених Штатах приймають п'ять мільйонів пацієнтів, але тільки шість тисяч лікарів мають відповідну кваліфікацію, щоб рятувати пацієнтів у критичному стані; відтак роботи типу *RP-6* могли б пом'якшити цю кризу в сфері невідкладної допомоги, оскільки з їхньою допомогою один лікар міг би займатись багатьма пацієнтами. У майбутньому такі роботи можуть стати більш автономними, самостійно пересуватись і спілкуватися з пацієнтами.

Японія належить до світових лідерів у цій технології. Японія витрачає стільки грошей на роботів, щоб пом'якшити неминучу кризу в медичній сфері. Сьогодні не дивно, що Японія – це одна з провідних держав у сфері робототехніки; на це є кілька причин. По-перше, в синтоїзмі вважається, що в неживих предметах є дух. Навіть у механічних. На Заході діти можуть верещати з жаху при вигляді роботів, особливо переглянувши стільки фільмів про несамовитих роботів-убивць. А японські діти сприймають роботів як дружніх духів, веселих і помічних. У Японії доволі звично побачити роботів, які вітають вас на вході в супермаркет. Фактично, 30 відсотків усіх комерційних роботів у світі знаходяться в Японії.

По-друге, на Японію насувається демографічне жакіття. У Японії населення старіє найшвидше. Рівень народжуваності впав до неймовірного показника – 1,2 дитини на сім'ю, імміграція майже відсутня. Дехто з демографів заявляє, що зараз ми спостерігаємо зіткнення поїздів “у сповільненому кадрі”: один демографічний поїзд (старіння населення й падіння народжуваності) незабаром зіткнеться з іншим (низький рівень імміграції). (Така сама катастрофа може, зрештою, статись і в Європі.) Найвідчутніше це буде в медичній сфері, де медсестри типу *ASIMO* можуть виявитись дуже корисними. Такі роботи будуть ідеальні для виконання деяких функцій у лікарні: зокрема вони можуть приносити й подавати ліки, а також цілодобово наглядати за пацієнтами.



## СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)

### МОДУЛЬНІ РОБОТИ

До середини сторіччя в нашому світі, мабуть, буде повно роботів, але ми, найімовірніше, їх навіть не помічатимемо. Це тому, що більшість роботів не матимуть людської подоби. Вони можуть бути сховані з виду, зовні скидатися на змії, павуків чи інших комах і виконувати неприємні, однак дуже важливі функції. Це будуть модульні роботи, що змінюватимуть форму залежно від виконуваної функції.

Я мав нагоду познайомитися з одним із піонерів у сфері модульних роботів – Вей-Мінь Шеном з Університету Південної Каліфорнії. Його ідея – створювати малі кубічні модулі, які можна переміщати, як блоки конструктора Лего, і збирати з них різні фігури за бажанням. Він називає їх поліморфними роботами, оскільки вони можуть змінювати форму, геометрію й функцію. В його лабораторії я відразу побачив різницю між його підходом і тим підходом, який застосовують у Стенфордському університеті й Массачусетському технологічному інституті. Зовні обидві ці лабораторії нагадують таку собі хатинку для ігор, про яку мріють діти, – там усюди, куди не глянь, роботи, що вміють ходити й розмовляти. Коли я відвідував лабораторії штучного інтелекту в Стенфордському університеті й Массачусетському технологічному інституті, то побачив там багато різноманітних роботів-“іграшок”, що мають усередині чіпи і якийсь інтелект. Усюди на верстаках – роботи-літаки, роботи-гелікоптери, роботи-вантажівки, а також роботи у вигляді комах із чіпами всередині, і всі переміщаються автономно. Кожний із цих роботів – автономний механізм.

Однак у лабораторії Університету Південної Каліфорнії ви побачите щось зовсім інше. Ви побачите там коробки з кубічними модулями, кожний завбільшки приблизно два дюйми; всі можуть з'єднуватися між собою й роз'єднуватись, і з них можна конструювати різноманітні твариноподібні створіння. Можна сконструювати змії, що повзтимуть одна за одною. Або кола, що котитимуться, як обручі. А потім ці конструкції можна погнути й натомість скласти з тих самих кубиків цілком інші пристрої, схожі на восьминогів, павуків, собак чи котів. Уявіть “розумний” конструктор Лего, в якому кожний блок має інтелект і може бути складовою якої завгодно конфігурації.



Різні типи роботів: LAGR (вгорі), STAIR (унизу ліворуч), ASIMO (унизу праворуч). Попри величезне збільшення комп'ютерної потужності ці роботи мають інтелект таргана.  
 Фото: вгорі Ян ЛеКуна (Yann LeCun); унизу ліворуч Ашутоша Саксена (Ashutosh Saxena); унизу праворуч Джейсона Кемпіна (Jason Kempin/WireImage)

Ця технологія буде помічною там, де треба проходити крізь бар'єри. Якби робот у формі павука повз у каналізаційній системі й наткнувся б на стіну, то спочатку він знайшов би у цій стіні якийсь маленький отвір, а тоді розпався б на частини. Кожна частина пройшла б крізь отвір, а потім усі частини знову склалися б у попередню

конструкцію вже по той бік стіни. Таким чином, для цих модульних роботів майже не існувало би перешкод, вони були б здатні подолати більшість із них тим чи іншим способом.

Ці модульні роботи могли б допомогти нам ремонтувати нашу застарілу інфраструктуру. Приміром, 2007 року міст через річку Міссісіпі в Міннеаполісі завалився, внаслідок чого 13 людей загинули і ще 145 було травмовано; мабуть, це сталось тому, що міст був старий, перевантажений і мав хиби в конструкції. Ймовірно, що по всій країні назрівають сотні схожих катастроф, але обстежувати й ремонтувати кожний старий міст просто занадто дорого. І тут нашим порятунком можуть стати модульні роботи, що беззвучно перевірятимуть наші мости, автостради, тунелі, трубопроводи й електростанції і при потребі їх ремонтуватимуть. (Наприклад, мости до Нижнього Мангеттена дуже постраждали від корозії, недбальства і браку ремонтів. Один робітник якось знайшов пляшку з-під кока-коли з 1950-х років, яка пролежала від часу, коли мости востаннє фарбували. Фактично, одна секція Мангеттенського мосту недавно мало не завалилась, і її довелося закрити на ремонт.)

## РОБОТИ-ХІРУРГИ І РОБОТИ-КУХАРІ

Роботів можна використовувати як хірургів, а також кухарів і музикантів. Приміром, один важливий фактор ризику в хірургії – це вправність і точність людської руки. Хірурги, як і всі люди, після багатьох годин роботи втомлюються, і їхня ефективність знижується. Пальці починають тремтіти. Роботи могли б розв'язати ці проблеми.

Наприклад, при традиційній операції на серці пацієнту роблять посередині грудей глибокий розріз, завдовжки з фут, і це вимагає загальної анестезії. Розтин грудної порожнини підвищує ризик інфекції й збільшує тривалість лікування, спричиняє гострий біль і дискомфорт протягом процесу одужання і залишає малопривабливий шрам. Проте робототехнічна система да Вінчі може великою мірою зменшити ці незручності. Робот да Вінчі має чотири механічні руки: одну для маніпулювання відеокамерою і три – для точної хірургічної операції. Замість довгого розрізу на грудях він робить тільки кілька маленьких розрізів збоку тіла. Цю систему вже використовують 800 лікарень у Європі й обох Америках; тільки 2006 року за допомогою цього робота було проведено 48 000 операцій. До того ж операцію

можна проводити дистанційно через інтернет – якийсь хірург світового класу у великому місті може робити операцію пацієнту в ізольованій сільській місцевості на іншому континенті.

У майбутньому досконаліші версії такої робота проводитимуть операції на мікроскопічних кровоносних судинах, нервових волокнах і тканинах, маніпулюючи мікроскопічними скальпелями, пінцетами й голками, що сьогодні неможливо. Фактично, в майбутньому хірурги тільки зрідка розрізатимуть шкіру. Неінвазивна хірургія стане нормою.

Ендоскопи (довгі трубки, які вводять у тіло і які можуть освітлювати й розрізати тканини) стануть тоншими за нитку. Мікропристрої, менші за крапку в кінці цього речення, виконуватимуть більшість механічних функцій. (В одній серії *Зоряного шляху* доктор МакКой був шокований від того, що в двадцятому сторіччі лікарі мусили розрізати шкіру.) День, коли це стане дійсністю, незабаром настане.

Студенти-медики в майбутньому вчитимуться розрізати тривимірні віртуальні зображення людського тіла, при тому кожний рух руки відтворюватиме робот у сусідній кімнаті.

Японці також досягли великих успіхів у створенні роботів, що можуть соціально взаємодіяти з людьми. У місті Нагоя є робот-кухар, що може за кілька хвилин приготувати стандартний фастфуд-обід. Ви просто натискаєте на відповідну кнопку в меню, і робот-кухар у вас перед очима готує замовлену страву. Цього робота створила компанія *Aisei*, промисловий виробник роботів; він може зварити макарони за 1 хвилину і 40 секунд і приготувати за день 80 порцій. Цей робот-кухар зовні дуже схожий на тих роботів, що стоять на автомобільних конвеєрах у Детройті. Він має дві великі механічні руки, що чітко запрограмовані виконувати певну послідовність рухів. Однак замість того, щоб скручувати і зварювати металеві частини, ці руки хапають із різних посудин інгредієнти страв – м'ясо, борошно, соуси, спеції тощо. Механічні руки змішують компоненти і роблять з них канапку, салат чи суп. Кухар *Aisei* виглядає як робот – дві гігантські руки, що стирчать з кухонного стола. Проте сьогодні розробляють і інші моделі, що більше схожі на людей.

Інша японська компанія – *Toyota* – створила робота, що вміє грати на скрипці майже так само добре, як будь-який фахівець. Він схожий на *ASIMO*, але вміє брати скрипку, хитатися в такт музики і точно виконувати складні мелодії для скрипки. Звук дивовижно реалістичний, і робот вміє робити ефектні жести, як справжній музикант. Ця музика ще не на рівні професійного скрипаля, однак достатньо

добра, щоб розважати публіку. Звісно, в минулому сторіччі у нас з'явилися механічні піаніно, що грали мелодії, записані на великому круглому диску. Як і ці механічні піаніно, робот компанії *Toyota* теж запрограмований. Однак відмінність полягає в тому, що робот компанії *Toyota* спеціально запрограмований якнайреалістичніше імітувати всі пози й жести скрипаля-людини.

В Університеті Васеда в Японії науковці створили робота-флейтиста. Цей робот має в грудях порожні камери, що, як легені, дмуть повітря в справжню флейту. Він уміє грати доволі складні мелодії, такі, як "Політ джмеля". Треба наголосити, що ці роботи не вміють створювати нової музики, але можуть позмагатися з людиною в умінні виконувати музику.

Робот-кухар і робот-музикант ретельно запрограмовані. Вони не автономні. Хоч ці роботи доволі складні порівняно зі старими механічними піаніно, вони все одно функціонують за тими самими принципами. Справжні роботи-покоївки і роботи-лакеї досі залишаються в далекому майбутньому. Однак нащадки цього робота-кухаря, робота-скрипаля і робота-флейтиста можуть колись увійти в наше життя й виконувати основні функції, що колись уважались суто прерогативою людини.

## ЕМОЦІЙНІ РОБОТИ

До середини сторіччя ера емоційних роботів може бути в повному розпалі.

У минулому письменники вигадували роботів, що мріяли стати людьми й мати почуття. У казці *Піноккіо* дерев'яна лялька хотіла стати справжнім хлопцем. У фільмі *Чарівник країни Оз* Залізний Дроворуб хотів мати серце. А в серіалі *Зоряний шлях: Наступне покоління* андроїд Дейта намагався навчитися почуттів, розповідаючи жарти й з'ясовуючи, від чого ми сміємося. Насправді в науковій фантастиці ця тема з'являється знову й знову – що роботи можуть ставати дедалі розумніші, однак суть почуттів завжди залишатиметься для них недоступною. Колись роботи, можливо, стануть розумнішими за нас, як стверджують деякі письменники-фантасти, але вони не вмітимуть плакати.

Насправді, може, це й не так. Сьогодні науковці починають розуміти справжню природу почуттів. По-перше, почуття допомагають

нам зрозуміти, що для нас добре, а що шкідливо. Переважна більшість усього, що є в світі, – або шкідливе, або не дуже корисне. Відчуваючи, що нам щось “подобається”, ми вчимося розпізнавати ту невеличку часточку предметів у середовищі, що для нас корисні.

Насправді кожне наше почуття (ненависть, заздрість, страх, кохання і т. д.) еволюціонувало мільйони років, щоб захистити нас від небезпек ворожого світу й допомогти продовжувати рід. Кожне почуття допомагає нам передавати наші гени наступному поколінню.

Важлива роль почуттів у нашій еволюції була очевидна неврологові Антоніо Дамасіо з Університету Південної Каліфорнії, який досліджував пацієнтів із травмами й хворобами мозку. У декого з цих людей був розірваний зв'язок між частиною мозку, що відповідає за мислення (корою головного мозку), і емоційним центром, що розташований глибоко в центрі мозку (мигдалиною). Ці люди були абсолютно нормальні, за тим винятком, що їм було складно виражати почуття.

Одна проблема стала очевидна відразу: ці люди не могли робити вибір. Купувати щось було кошмаром, оскільки всі речі для них мали однакову вартість, незалежно від того, дорогі вони чи дешеві, крикливі чи вишукані. Домовитись про зустріч було майже неможливо, бо всі дати в майбутньому здавалися їм однаковими. Ці люди наче “знають, але не відчують”, як сказав Дамасіо.

Іншими словами, одна з головних функцій почуттів полягає в тому, що вони створюють для нас шкалу цінностей, щоб ми могли вирішувати, що важливе, що дороге, що гарне, а що цінне. Без почуттів усе має ту саму вартість, і ми губимося від безкінечного вибору між варіантами, що важать усі однаково. Тож тепер науковці починають розуміти, що почуття – це аж ніяк не розкіш, а невіддільна складова інтелекту.

Наприклад, якщо подивитися тепер *Зоряний шлях*, зокрема те, як Спок і Дейта виконують свої завдання начебто без жодних емоцій, то можна відразу зрозуміти, в чому полягає хиба. На кожному кроці Спок і Дейта виявляють емоції: вони ухвалюють цілу низку ціннісних рішень. Вони вирішують, що бути офіцером – це важливо, що необхідно виконувати певні завдання, що мета Федерації – благородна, що людське життя цінне і т. д. Отже, це ілюзія – що можна бути офіцером і не мати жодних емоцій.

Емоційні роботи можуть стати питанням життя і смерті. Можливо, в майбутньому науковці створять роботів-рятівників, яких

посилатимуть на місця пожеж, землетрусів, вибухів тощо. Їм доведеться ухвалювати тисячі ціннісних рішень стосовно того, кого й що рятувати і в якій послідовності. Оглядаючи місце катастрофи, вони будуть змушені визначати, які з усіх їхніх різноманітних завдань мають більший пріоритет, а які менший.

Емоції також посідають важливе місце в еволюції людського мозку. Якщо ви поглянете на найзагальніші анатомічні властивості головного мозку, то зауважите, що їх можна згрупувати у три великі категорії.

Спочатку маємо рептильний мозок, що розташований біля основи черепа, – він становить основну частину мозку рептилій. Примітивні життєві функції – збереження рівноваги, вияв агресії, захист власної території, пошук їжі – все це контролюється цією частиною мозку. (Іноді, коли ви пильно дивитеся на змію, а та пильно дивиться на вас, у вас з'являється моторошне відчуття. Вам цікаво, про що змія думає? Якщо ця теорія правдива, то змія, насправді, майже зовсім не думає – хіба що вирішує, вийде з вас обід чи ні.)

Якщо подивитися на вищі організми, то можна побачити, що в них мозок розширився до переду черепа. Наступний рівень – це мозок мавпи, або лімбічна система, що розташована в центрі нашого мозку. Вона містить такий компонент, як мигдалина, що бере участь у формуванні емоцій. Тварини, які живуть групами, мають особливо добре розвинуту лімбічну систему. Соціальним тваринам, що полюють групами, потрібні високі розумові здібності, аби розуміти правила зграї. Оскільки успіх в умовах дикої природи залежить від уміння співпрацювати з іншими й оскільки ці тварини не вміють розмовляти, то вони мусять передавати свій емоційний стан за допомогою мови рухів, хрюкання, виття й жестів.

І, нарешті, маємо передню частину мозку і зовнішній шар – кору головного мозку – шар, що робить людину людиною й керує раціональним мисленням. Поведінка тварин визначається переважно інстинктами й генами, тим часом люди мають кору головного мозку, завдяки якій можуть логічно мислити.

Якщо ця еволюційна прогресія правильна, то це означає, що почуття матимуть велике значення у створенні автономних роботів. Ті роботи, яких уже створено, імітують лише рептильний мозок. Вони вміють ходити, вивчати середовище навколо себе й хапати предмети – але не більше за це. З іншого боку, соціальні тварини розумніші за своїх побратимів із суто рептильним мозком. Емоції потрібні тварині, щоб навчитися жити в групі й опанувати правила

зграї. Тож науковцям доведеться ще подолати довгий шлях, доки вони навчаться моделювати лімбічну систему й кору головного мозку.

Синтія Брізіл із Массачусетського технологічного інституту створила робота, що спеціально призначений розв'язувати цю проблему. Цього робота звать *KISMET*, і його обличчя нагадує пустотливого ельфа. На перший погляд він здається живим, бо відповідає вам мінами, що виражають різні емоції. Цікаво, що жінки, спілкуючись із цим дитиноподібним роботом, часто розмовляють з ним пестливою мовою, як матері зі своїми малолітніми дітьми. Хоч роботи типу *KISMET* задумані, щоб імітувати почуття, науковці не мають ілюзій щодо того, що насправді робот не переживає цих почуттів. У деякому сенсі, він схожий на магнітофон, що запрограмований відтворювати не звуки, а вирази обличчя, без жодного усвідомлення, що саме він робить. Проте завдяки *KISMET* ми тепер знаємо, що не так уже й складно запрограмувати робота, який імітуватиме людські почуття, на які люди реагуватимуть.

Ці емоційні роботи з'являться в наших оселях. Вони не стануть нашими довіреними особами, секретарями чи покоївками, але зможуть виконувати якісь регламентовані процедури, що ґрунтуватимуться на евристиці. До середини сторіччя вони можуть мати інтелект собаки чи kota. Так само, як наші домашні улюбленці, вони виявлятимуть емоційний зв'язок зі своїм господарем, тож їх не так просто буде взяти й викинути. Ви не зможете розмовляти з ними розмовною англійською, але вони розумітимуть запрограмовані команди – мабуть, сотні команд. Якщо ви попросите їх зробити щось, чого не буде записано у них в пам'яті (наприклад, “піді й запусти повітряного змія”), вони просто зобразять здивування й розгубленість. (Якщо до середини сторіччя роботи-собаки й роботи-коти зможуть імітувати весь діапазон тваринних реакцій, які неможливо буде відрізнити від поведінки справжніх тварин, то постане питання, чи ці роботи-тварини справді мають такі самі почуття й інтелект, як звичайний собака чи кіт.)

Корпорація *Sony* експериментувала з цими емоційними роботами, коли виготовила собаку *AIBO* (*artificial intelligence robot*). Це була перша іграшка, що реалістично виражала почуття господарю, хоч і примітивним способом. Наприклад, якщо погладити собаку *AIBO* по спині, він одразу починає вдоволено скімтлити. Він уміє ходити, реагувати на голосові команди і навіть якоюсь мірою вчитися. *AIBO* не може навчитися нових емоцій чи емоційних реакцій. (Проект припинили 2005 року з фінансових причин, але відтоді у



нього з'явилась група прихильників, що вдосконалюють програмне забезпечення *AIBO*, щоб той міг виконувати більше функцій.) У майбутньому роботи-тваринки, що імітують емоційну прив'язаність до дітей, можуть стати звичним явищем.

Хоч ці роботи-тваринки й матимуть великий діапазон емоцій і створюватимуть тривалий емоційний зв'язок з дітьми, вони не відчуватимуть справжніх емоцій.

## ЗВОРОТНА РОЗРОБКА ГОЛОВНОГО МОЗКУ

До середини сторіччя ми мали б подолати наступну віху в історії штучного інтелекту: зворотну розробку головного мозку людини. Науковці, розчаровані, що їм так і не вдалося створити робота з кремнію й сталі, тепер пробують застосувати протилежний підхід: розібрати мозок на складові, нейрон за нейроном – зовсім так само, як механік міг би розібрати двигун, гвинтик за гвинтиком, – а тоді змоделювати ці нейрони на потужному комп'ютері. Ці науковці систематично намагаються моделювати, як збуджуються нейрони у тварин, починаючи від мишей, котів – і далі вгору по еволюційній шкалі тваринного світу. Це чітко окреслена мета, і ми мали б її досягнути до середини сторіччя.

Фред Гепгуд із Массачусетського технологічного інституту пише: "Якщо ми дізнаємось, як працює мозок – як саме він працює, так, як ми знаємо, як працює двигун, – то нам доведеться переписати майже кожний текст у бібліотеці".<sup>10</sup>

Перший крок у процесі зворотної розробки мозку – це зрозуміти його базову структуру. Навіть це просте завдання забрало вже багато часу й зусиль. У минулому лікарі й науковці визначали різні частини мозку під час розтинів трупів, не маючи, втім, жодного поняття про їхні функції. Все поступово почало змінюватись, коли науковці почали спостерігати за людьми з травмами мозку й зауважили, що пошкодження певних частин мозку призводить до змін у поведінці. Жертви інсульту й люди з травмами чи хворобами головного мозку виявляли конкретні зміни в поведінці, які можна було пов'язати з травмами у конкретних частинах мозку.

Найпоказовіша в цьому сенсі подія сталася 1848 року у Вермонті, коли металевий прут завдовжки 3 фути і 8 дюймів пройшов наскрізь через голову будівельника на ім'я Фінеас Гейдж, коли той прокладав за-

лізничну колію. Причиною цього епохального інциденту був випадковий вибух динаміту. Прут увійшов Гейджу в щок, розтросив щелепу, пройшов крізь мозок і вийшов назовні з верху голови. Чоловік дивом уцілів після цього жахливого випадку, хоч одна чи й обидві лобні долі у нього були пошкоджені. Лікар, що його лікував, спершу не міг повірити, що хтось зміг вижити після такої пригоди. Гейдж кілька тижнів перебував у напівпритомному стані, але пізніше все ж одужав.<sup>11</sup> Він навіть прожив іще дванадцять років – брався за випадкові роботи й подорожував – і помер 1860 року. Лікарі старанно зберегли його череп і той пам'ятний прут, і відтоді весь час їх прискіпливо вивчають. За допомогою сучасних технологій (зокрема комп'ютерної томографії) науковцям удалося відтворити подробиці того надзвичайного випадку.

Ця подія назавжди змінила попередні уявлення про зв'язок між тілом і розумом. Раніше було прийнято вважати, навіть у наукових колах, що тіло й душа – це окремі сутності. Люди зі знанням справи писали про якусь “життєву силу”, що оживляє тіло, незалежну від мозку. Однак після зазначеного випадку поширились чутки, що характер Гейджа дуже змінився. Дехто стверджував, що колись Гейдж був симпатичним, товариським чоловіком, а тепер став агресивним і непривітним. Ця інформація підкріпила думку, що конкретні частини мозку відповідають за різні типи поведінки, отже, тіло й душа нероздільні.

У 1930-х роках нейрохірург Вайлдер Пенфілд, що спеціалізувався на хірургії епілепсії, зробив іще одне відкриття. Він зауважив, що коли під час операцій на відкритому мозку він торкається його окремих ділянок електродами, то це стимулює певні частини тіла пацієнта. Якщо торкнутися тієї чи іншої ділянки кори головного мозку, то від цього може ворухнутись рука або нога. Таким способом Пенфілду вдалося створити приблизну схему того, які ділянки кори головного мозку за які частини тіла відповідають. Завдяки цьому стало можливо по-новому схематично зобразити мозок людини, зазначивши, які ділянки мозку за який орган відповідають. У результаті утворився “гомункулус” – доволі непропорційне зображення людського тіла, нанесене на поверхню мозку; воно виглядає як чудернацький маленький чоловічок з величезними кінчиками пальців, губами і язиком, але тоненьким тілом.

Пізніше завдяки магнітно-резонансним томографам ми одержали сенсаційні зображення живого мозку, але ці томографи не можуть простежити конкретних нейронних траєкторій думок, що містять,

напевно, лише якихось кілька тисяч нейронів. Однак нова сфера, що має назву оптогенетика, поєднує оптику з генетикою і має на меті виявити конкретні нейронні траєкторії в тварин. Це можна порівняти зі створенням дорожньої карти. Результати магнітно-резонансної хірургії – це наче визначення великих федеральних автострад і великого потоку транспорту на них. А оптогенетика, можливо, дасть нам змогу реально визначити менші дороги й стежки. У принципі, вона навіть обіцяє науковцям можливість керувати поведінкою тварин, стимулюючи ці конкретні стежки.

Це, своєю чергою, спричинило появу сенсаційних історій у медіях. На сайті *Drudge Report* з'явилася стаття з крикливим заголовком: "Науковці створили мух із дистанційним керуванням". У статті було змальовано мух із дистанційним керуванням, що виконують брудну роботу Пентагону. Ведучий нічного ток-шоу *The Tonight Show* Джей Лено навіть розповідав про муху з дистанційним керуванням, яка могла б за командою залетіти в рот президентові Джорджеві Бушу. Хоч гумористи досхочу розважились, малюючи неймовірні сценарії, як Пентагон простим натисканням кнопки командує полчищами комах, дійсність насправді значно скромніша.

Мозок дрозофіли містить приблизно 150 000 нейронів. Оптогенетика дає змогу науковцям збуджувати в мозку дрозофіли певні нейрони, що відповідають певним видам поведінки. Наприклад, якщо активувати два конкретні нейрони, то це може бути для дрозофіли сигналом до втечі. Дрозофіла тоді автоматично витягує лапки, розправляє крила й злітає. Науковцям удалося генетично вивести такий вид дрозофіл, в яких нейрони втечі збуджуються при вмиканні лазерного променя. Якщо на цих дрозофіл посвітити лазерним променем, то вони відразу злітають.

Дослідження структури головного мозку має важливе значення. Ми не тільки змогли б поступово визначити нейронні траєкторії, що відповідають конкретним видам поведінки, а й використати цю інформацію, щоб допомогти тим, хто переніс інсульт, і пацієнтам з хворобами і травмами мозку.

Джеро Мізенбок з Оксфордського університету і його колеги визначили таким способом нейронні механізми у тварин. Ці науковці вивчають не тільки нейронні траєкторії рефлексу втечі в дрозофіл, а й рефлекси, що задіяні в сприйнятті запахів. Вони дослідили нейронні траєкторії, що керують пошуком їжі у круглих черв'їв. Вони дослідили нейрони, що задіяні в прийнятті рішень у мишей. Вони виявили, що

в дрозофіл лише два нейрони зумовлюють конкретну поведінку, а в мишей при прийнятті рішень активуються майже 300 нейронів.

Основні інструменти, які вони використовують, – це гени, що відповідають за виробництво певних барвників, а також молекули, що реагують на світло. Приміром, у медузи є такий ген, що виробляє зелений флуоресцентний протеїн. Крім того, існують різноманітні молекули – типу родопсину – які на світлі пропускають іони крізь мембрани своїх клітин. Отож, якщо посвітити світлом на ці організми, то це спричиняє конкретні хімічні реакції. Озброєні цими барвниками й хімічними речовинами, науковці змогли вперше в історії визначити нейронні мережі, що керують конкретними видами поведінки.

Отже, хоч гумористи й люблять висміювати тих науковців, які буцімто намагаються створити таких собі “дрозофіл Франкенштайна” з дистанційним керуванням, правда полягає в тому, що науковці вперше в історії відстежують точні нейронні траєкторії мозку, що відповідають конкретним видам поведінки.

## МОДЕЛЮВАННЯ МОЗКУ

Оптогенетика – це перший скромний крок. Наступний крок – реально змоделювати цілий мозок, застосовуючи найновіші технології. Є принаймні два підходи до розв’язання цієї колосальної задачі, що потребуватиме багато десятиріч наполегливої праці. Перший підхід – це зімітувати за допомогою суперкомп’ютерів поведінку мільярдів нейронів, кожний з яких з’єднаний із тисячею інших. Другий підхід – це реально виявити кожний нейрон у мозку.

Ключ до першого підходу – імітування мозку – простий: чиста комп’ютерна потужність. Чим більший комп’ютер, тим краще. Груба сила й прості теорії можуть бути ключем до розв’язання цієї грандіозної задачі. Комп’ютер, що, можливо, впорається з цим надскладним завданням, називається *Blue Gene* – один із найпотужніших комп’ютерів на Землі, який створила компанія *IBM*.

Я мав нагоду побачити на власні очі цього монстра-комп’ютера, коли був на екскурсії в Ліверморській національній лабораторії імені Е. Лоуренса, де розробляють водневі боєголовки для Пентагону. Це головна секретна лабораторія зброї в Америці, величезний комплекс площею 790 акрів, розташований у глибині сільської місцевості, з бюджетом 1,2 мільярда доларів на рік і штатом 6 800 працівників.

Це серце американської індустрії ядерної зброї. Щоб потрапити до середини, я мусив пройти через багато рівнів безпеки, оскільки це одна з найбільш засекречених лабораторій зброї у світі.

Нарешті, проминувши низку контрольно-пропускних пунктів, я зміг увійти до будівлі, де міститься комп'ютер *Blue Gene* компанії *IBM*, що виконує обчислення з приголомшливою швидкістю – 500 трильйонів операцій за секунду. *Blue Gene* виглядає доволі незвично. Він величезний, займає близько чверті акра і складається з багатьох рядів чорних сталевих корпусів, кожний близько 8 футів заввишки і 15 футів завдовжки.

Я ходив поміж цими корпусами з дивним відчуттям. На відміну від голлівудських фантастичних фільмів, де на комп'ютерах зазвичай блимають численні лампочки, крутяться диски, а в повітрі тріщать розряди електрики, ці корпуси були абсолютно беззвучні, й було видно тільки декілька крихітних лампочок. Я усвідомлював, що цей комп'ютер виконує трильйони складних обчислень, але я нічого не чув і не бачив, як він працює.

Мене цікавило те, що *Blue Gene* імітує процес мислення мозку миші, який містить близько 2 мільйонів нейронів (для порівняння: мозок людини містить 100 мільярдів нейронів). Змоделювати мислення миші складніше, ніж здається на перший погляд, оскільки кожний нейрон з'єднаний з багатьма іншими, і це утворює густу павутину з нейронів. Але коли я ходив поміж численними стійками з консолями, з яких складається *Blue Gene*, то не міг стримати подиву від того, що ця приголомшлива комп'ютерна потужність може імітувати тільки мозок миші і то лише на кілька секунд. (Це не означає, що *Blue Gene* може імітувати поведінку миші. Сьогодні науковці заледве можуть змоделювати поведінку таргана. Радше це означає, що *Blue Gene* може імітувати те, як збуджуються нейрони в мозку миші, а не її поведінку.)

Насправді над моделюванням мозку миші працює декілька груп науковців. Один амбітний проект має назву *Blue Brain*, і ним керує Генрі Маркхам з федеральної політехнічної школи Лозанни у Швейцарії. Він почав роботу 2005 року, коли зміг добути компактну версію *Blue Gene* лише з 16 000 процесорів, але вже за рік йому вдалося змоделювати колонку неокортекса щура – частину неокортекса, що містить 10 000 нейронів і 100 мільйонів з'єднань. Це було епохальне досягнення, оскільки означало, що з біологічного погляду можливо повністю проаналізувати структуру одного з важливих компонентів мозку, нейрон за нейроном. (Мозок миші складається з мільйонів

таких колонок, що повторюються знову й знову. Відтак, змодельовавши одну з них, ми починаємо розуміти, як працює мозок миші.)

У 2009 році Маркрам оптимістично заявив: “Немає нічого неможливого в тому, щоб змодельувати мозок людини, і ми можемо зробити це за десять років. Якщо ми змодельуємо його правильно, то він повинен розмовляти й мати інтелект і поводитися дуже схоже на людину”.<sup>12</sup> Він, однак, застерігає, що для цього потрібний суперкомп’ютер, у 20 000 разів потужніший за сучасні суперкомп’ютери і з пам’яттю в 500 разів більшою за весь обсяг сучасного інтернету.

То що ж є перешкодою на шляху до цієї грандіозної мети? Для науковця відповідь проста: гроші.

Оскільки базовий принцип зрозумілий, Маркразу здається, що він може впоратись із цим завданням, просто вкладаючи в нього гроші. Він каже: “Це не питання років, це питання доларів... Усе залежить від того, чи суспільство цього хоче. Якщо суспільство хоче цього за десять років, то воно одержить це за десять років. Якщо суспільство хоче цього за тисячу років, то ми можемо почекати”.<sup>13</sup>

Однак іще одна група науковців б’ється над тією самою задачею, збираючи найпотужніший в історії суперкомп’ютер. Ця група користується найновішою версією комп’ютера *Blue Gene*, що має назву *Dawn* і теж розташований у Ліверморі. *Dawn* із його 147 456 процесорами і 150 000 гігабайтів пам’яті являє собою справді приголомшливе видовище. Він приблизно в 100 000 разів потужніший за комп’ютер, що стоїть на вашому столі. Цю групу науковців очолює Дхармендра Модха, і на їхньому рахунку вже є низка досягнень. У 2006 році групі вдалося змодельувати 40 відсотків мозку миші. У 2007 році науковці змодельували 100 відсотків мозку щура (що містить 55 мільйонів нейронів – значно більше, ніж мозок миші).

А 2009 року ці науковці побили ще один світовий рекорд. Їм удалося змодельувати один відсоток кори головного мозку людини – або, грубо кажучи, кору головного мозку kota, що містить 1,6 мільярда нейронів з 9 трильйонами з’єднань. Однак ця модель була повільна, її швидкість становила близько 1/600 швидкості людського мозку. (Якби вона містила лише мільярд нейронів, то швидкість була б значно більша – близько 1/83 швидкості людського мозку.)

“Це телескоп Габбла для розуму, лінійний прискорювач для мозку,” – гордо заявляє Модха, відзначаючи велетенський масштаб цього досягнення. Оскільки мозок людини містить 100 мільярдів нейронів, ці науковці вже бачать світло в кінці тунелю. Їм здається,

що модель усього людського мозку вже не за горами. “Це не просто можливо, це неминуче. Це неодмінно станеться”, – каже Модха.<sup>14</sup>

Утім, моделювання цілого людського мозку пов'язане з серйозними проблемами – передусім проблемою споживання енергії і тепловиділення. Комп'ютер *Dawn* пожирає мільйон ват електроенергії і виділяє стільки тепла, що йому потрібно 6 675 тон кондиційного обладнання, крізь яке проходить 2,7 мільйона кубічних футів холодного повітря щохвилини. Аби змоделювати мозок людини, це все треба помножити на тисячу.

Це справді грандіозна задача. Цей гіпотетичний суперкомп'ютер мав би споживати мільярд ват електроенергії – приблизно стільки виробляє одна атомна електростанція. Цією електроенергією можна було б освітити ціле місто. Аби охолодити цей суперкомп'ютер, на нього треба було б спрямувати воду досить великої річки. А сам суперкомп'ютер зайняв би багато кварталів міста.

Дивовижно, але людський мозок споживає тільки 20 Вт енергії. Тепло, яке він виділяє, ледь помітне, однак він безумовно перевершує наші найпотужніші суперкомп'ютери. Щобільше, людський мозок – це найскладніший об'єкт, який створила Матінка Природа в цій частині галактики. Оскільки ми не знаходимо жодних слідів інших розумних форм життя в нашій Сонячній системі, це означає, що нам довелося б полетіти на відстань щонайменше 24 трильйони миль, до найближчої зірки – а то й далі – щоб знайти такий самий складний об'єкт, як той, що міститься всередині вашого черепа.

Ми могли б завершити зворотну розробку мозку за десять років, але тільки якби для цього створили інтенсивну програму, на кшталт Мангеттенського проекту, з багатомільярдним бюджетом. Однак у близькому майбутньому це навряд чи буде можливо з уваги на теперішню економічну ситуацію. Інтенсивні програми на кшталт проекту з розкодування геному людини, який коштував близько трьох мільярдів доларів, підтримувались урядом США з огляду на їхню очевидну користь для медицини й науки. Тим часом користь від зворотної розробки мозку не виявляється відразу, тому на це піде значно більше часу. Найімовірніше, що ми просуватимемося до цієї мети маленькими кроками, і нам може знадобитись багато десятиріч, щоб до кінця виконати цю грандіозну задачу.

Отже, комп'ютер, що імітує мозок, може з'явитися приблизно в середині сторіччя. І навіть після цього потрібно ще буде багато десятків років, аби опрацювати ті гори інформації, що з'являться в

результаті цього проекту, й зіставити її з людським мозком. Ми тутимемо в цій інформації, не маючи відповідних засобів, щоб відділити половину від зерна.

## РОЗБИРАННЯ МОЗКУ НА СКЛАДОВІ

А що ж із другим підходом – визначенням точного місця перебування кожного нейрона в мозку?

Цей підхід – теж грандіозна задача, що може зайняти багато десятиріч складних досліджень. Замість того, щоб використовувати суперкомп'ютери типу *Blue Gene*, ці науковці намагаються розібрати мозок на складові, починаючи з розрізання мозку дрозофіли на неймовірно тонкі скибочки – не більше 50 нанометрів завширшки (близько 150 атомів). У результаті утворюються мільйони скибочок. Тоді кожну з цих скибочок фотографує скануючий електронний мікроскоп – зі швидкістю близько мільярда пікселів за секунду. Обсяг даних, що виходять із цього електронного мікроскопа, приголомшливий – приблизно 1 000 трильйонів байтів даних, ними можна було б заповнити цілу кімнату; і це тільки мозок однієї дрозофіли. На опрацювання цих даних – тобто кропіткє відтворення в трьох вимірах усіх з'єднань кожного нейрона в мозку дрозофіли – пішло би близько п'яти років. Щоб одержати точнішу картину мозку дрозофіли, треба було б розрізати на скибочки мозок іще багатьох інших дрозофіл.

Джеррі Рубін з Медичного інституту Говарда Г'юза, один із лідерів у цій сфері, вважає, що на створення докладної карти цілого мозку дрозофіли загалом піде двадцять років. “Я б сказав, що, впоравшись із цим, ми подолаємо одну п'яту шляху до розуміння людського мозку”, – підсумовує він.<sup>15</sup> Рубін усвідомлює монументальність цього завдання. Людський мозок містить у мільйон разів більше нейронів, ніж мозок дрозофіли. Якщо потрібно двадцять років, аби визначити кожний нейрон у мозку дрозофіли, то на визначення нейронної архітектури людського мозку, безумовно, піде ще багато десятків років після цього. Вартість цього проекту теж буде величезна.

Отож науковці, що працюють над зворотною розробкою мозку, засмучені. Вони бачать, що їхня мета до болю близько, але брак фінансування стримує роботу. Втім, логічно припустити, що приблизно до середини сторіччя ми матимемо і комп'ютерну потужність, достатню, щоб імітувати мозок людини, і наближені карти нейрон-



ної архітектури мозку. Однак повністю зрозуміти людське мислення чи створити машину, що зможе продублювати функції людського мозку, ми, мабуть, зможемо хіба що аж наприкінці цього сторіччя.

Приміром, навіть якщо ви знаєте точне місце кожного гена всередині мурашки, то це ще не означає, що ви знаєте, як мурашка створена. Аналогічно, навіть якщо науковці тепер знають ті 25 000 генів, з яких складається геном людини, то це ще не означає, що вони знають, як функціонує людський організм. Проект *Геном людини* – це як словник без визначень. Кожний ген людини чітко зазначений у цьому словнику, але що саме той чи інший ген робить – досі здебільшого залишається таємницею. Кожний ген відповідає за конкретний протеїн, але наразі невідомо, як більшість із цих протеїнів функціонує в організмі.

Ще 1986 року науковцям удалося повністю визначили розташування всіх нейронів у нервовій системі крихітного черва *C. elegans*. Ця досягнення спершу проголосили великим проривом, що дасть нам змогу розгадати таємницю мозку. Проте знання точного розташування 302 нервових клітин і 6 000 хімічних синапсів цього черва не дало жодного розуміння того, як він функціонує, навіть і через кілька десятків років.

Так само потрібно буде багато десятків років – навіть після повного завершення зворотної розробки мозку, – щоб зрозуміти, як усі його складові працюють і взаємодіють між собою. Якщо мозок людини врешті-решт повністю розшифрують до кінця цього сторіччя, то це буде величезний крок до створення людиноподібних роботів. І що ж тоді перешкодить їм підкорити нас собі?

## ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)

### КОЛИ РОБОТИ СТАНУТЬ СВІДОМІ

У фільмі *Термінатор* Пентагон із гордістю запускає Скайнет – потужний і надійний комп'ютер, призначений чітко управляти ядерним арсеналом США. Той бездоганно виконує всі завдання, аж раптом одного дня 1995 року стається щось несподіване. У Скайнета з'являється власна свідомість. Оператори Скайнета, шоковані тим, що їхнє творіння стало свідомим, намагаються його вимкнути. Од-

нак вони спізнались. Скайнет вирішує, що єдиний спосіб захистити себе – це знищити людство, і розпочинає катастрофічну атомну війну. Три мільярди людей гине в незліченних ядерних пожежах. Після цього Скайнет посилає легіони роботів-убивць, аби добити всіх, хто вижив. Сучасна цивілізація розпадається, від неї залишаються тільки дрібні групи невдах і бунтівників.

У трилогії *Матриця* картина ще похмуріша. Люди настільки примітивні, що навіть не усвідомлюють, що машини вже їх поневолили. Люди займаються щоденними справами, думаючи, що все гаразд, і не підозрюючи, що насправді вони живуть у матриці. Їхній світ – це віртуальна реальність, якою керують роботи-господарі. “Існування” людей – це лише комп’ютерна програма, що відтворюється на великому комп’ютері й під’єднана до мозку людей, які живуть у цій матриці. Люди цим роботам потрібні тільки для того, щоб використовувати їх як джерело енергії.

Звісно, Голлівуд тим і заробляє гроші, що лякає глядачів до смерті. Однак із цього всього постає справедливе наукове питання: Що станеться, коли роботи врешті-решт стануть такими ж розумними, як ми? Що станеться, коли роботи пробудяться і стануть свідомими? Науковці завзято дискутують над цим питанням: що буде – не “якщо”, а “коли” – ця епохальна мить настане.

На думку деяких експертів, наші творіння-роботи поступово підніматимуться вгору по еволюційній шкалі. Сьогодні вони мають інтелект тарганів. У майбутньому вони матимуть інтелект миші, кролика, собаки й kota, мавпи, а тоді зрівняються з людиною. Можливо, на подолання цього шляху піде багато десятків років, однак експерти вважають, що колись роботи неодмінно перевершать нас за інтелектом – це тільки питання часу.

Дослідники штучного інтелекту мають різні погляди стосовно того, коли це може трапитись. Дехто каже, що за двадцять років роботи наблизяться до інтелекту людського мозку, а потім залишать нас далеко позаду. У 1993 році письменник-фантаст Вернор Віндж сказав: “Не пізніше, ніж за тридцять років, ми матимемо технологічні засоби, щоб створити надлюдський інтелект. Невдовзі після цього ера людини закінчиться... Я би здивувався, якби це сталося до 2005 або після 2030 року”.<sup>16</sup>

З іншого боку, Дуглас Гофштадтер, автор книжки *Гьодель, Ешер, Бах: Вічна золота гірлянда*, сказав: “Я б дуже здивувався, якби щось хоч віддалено схоже на це трапилося в наступні 100-200 років”.<sup>17</sup>

Коли я розмовляв із Марвіном Мінскі з Массачусетського технологічного інституту, одним із першопрохідців в історії штучного інтелекту, той обережно сказав мені, що не береться прогнозувати, коли саме така подія може статися. Він уважає, що цей день неодмінно настане, але не наважується виступати в ролі оракула й передбачати точну дату. (Як ветеран у царині штучного інтелекту, яку він разом з іншими створював майже з нуля, Мінскі, мабуть, чув надто багато прогнозів, які не справдились і лише спровокували розчарування.)

Проблема з цими сценаріями великою мірою зумовлена відсутністю всезагального консенсусу щодо значення слова “свідомість”. Філософи й математики бились над цим словом багато сторіч і так ні до чого й не прийшли. Мислитель сімнадцятого сторіччя Готтфрід Ляйбніц, винахідник математичного аналізу, якимось написав: “Якби можна було збільшити мозок до розмірів млина і походити всередині, то ви б там не знайшли свідомості”.<sup>18</sup> Філософ Девід Чалмерс навіть уклав каталог із 20 000 праць на цю тему, без жодного натяку на якийсь консенсус.<sup>19</sup>

В історії науки немає іншого такого прикладу, коли б стільки людей доклали стільки зусиль і домоглися так мало.

Свідомість – це, на жаль, популярний термін, що для різних людей означає різні речі. Прикро, але не існує єдиного універсально прийнятого визначення цього терміна.

Я особисто вважаю, що однією з проблем досі залишається нездатність науковців дати чітке визначення свідомості й квантифікувати її.

Я б наважився припустити, що свідомість складається принаймні з трьох основних компонентів:

1. відчуття і розпізнавання середовища;
2. самоусвідомлення;
3. планування майбутнього через визначення цілей і планів, тобто моделювання майбутнього і розроблення стратегій.

При цьому підході навіть прості пристрої та комахи мають якусь форму свідомості, яку можна оцінити за шкалою від 1 до 10. Існує певний континуум свідомості, який можна квантифікувати. Молоток не відчуває середовища, тож його рейтинг за цією шкалою був би 0. А термостат відчуває. Суть термостата полягає в тому, що він відчуває

температуру середовища і діє відповідно, змінюючи її, – отже його рейтинг був би 1. Відтак пристрої з механізмами зворотного зв'язку мають якусь примітивну форму свідомості. Черви теж мають цю здатність. Вони відчують присутність їжі, партнера чи небезпеки й діють залежно від цієї інформації, але крім цього вони не вміють майже нічого. Комахи, що вміють виявляти більше, ніж один параметр (зокрема вид, звук, запахи, тиск тощо), мали б вищий рейтинг, мабуть, 2 або 3.

Найвищою формою такого відчуження була б здатність розпізнавати й розуміти об'єкти в середовищі. Люди можуть миттєво оцінити середовище й діяти відповідно, отже, мають високий рейтинг за цією шкалою. Однак саме тут роботи зовсім не мають чим похизуватися. Розпізнавання образів, як ми вже побачили, – це одна з серйозних перешкод на шляху до створення штучного інтелекту. Роботи можуть відчувати середовище значно краще за людей, але вони не розуміють і не розпізнають того, що бачать. На цій шкалі свідомості роботи перебувають у самому низу, поряд із комахами, – через те, що не вміють розпізнавати образів.

Наступний рівень свідомості передбачає самоусвідомлення. Якщо перед більшістю тварин-самців поставити дзеркало, то вони відразу зреагують агресивно, навіть кидатимуться на дзеркало. Відображення в дзеркалі спонукає тварину захищати свою територію. Більшість тварин не усвідомлюють, хто вони такі. Однак мавпи, слони, дельфіни й деякі птахи швидко здогадуються, що образ у дзеркалі – це вони самі, і перестають кидатись на нього. Люди за цим параметром були б на самому верхечку шкали, оскільки вони чітко усвідомлюють, хто вони такі стосовно інших тварин, інших людей і світу загалом. До того ж люди настільки добре усвідомлюють себе, що можуть навіть мовчки розмовляти самі з собою, щоб подумки оцінити ситуацію.

По-третє, тварин можна оцінити за здатністю будувати плани на майбутнє. Комахи, наскільки нам відомо, не визначають чітких цілей на майбутнє. Натомість вони здебільшого реагують на ситуацію в режимі реального часу, керуючись інстинктами й підказками з безпосереднього середовища.

У цьому сенсі хижакі мають вищу свідомість, ніж ті тварини, на яких вони полюють. Хижаки мусять будувати плани заздалегідь – шукати місце, де сховатися, планувати, як підстергти здобич, підкрастись до неї, передбачити, як та спробує втікати. Тим часом тварини, на яких полюють, мусять тільки рятуватись – отже, за цим показником вони мають нижчий рейтинг.

Щобільше, примати, будуючи плани на найближче майбутнє, можуть імпровізувати. Якщо їм показати банан, до якого неможливо дотягнутись кінцівкою, то вони можуть вигадати якийсь спосіб дістати цей банан – наприклад, за допомогою палиці. Отже, якщо примати бачать конкретну мету (їжу), то вони будують плани на найближче майбутнє, як досягнути цієї мети.

Утім, загалом тварини не мають добре розвинутого відчуття далекого минулого чи майбутнього. Видається, що в тваринному світі немає такого поняття, як “завтра”. Немає жодних свідчень, що тварини вміють планувати на багато днів наперед. (Тварини запасують їжу на зиму, але це здебільшого зумовлено генами: вони запрограмовані генами так, щоб реагувати на зниження температури збиранням їжі.)

Тим часом люди мають дуже добре розвинуте відчуття майбутнього і весь час будують плани. Ми постійно прокручуємо в голові різні сценарії дійсності. Насправді ми можемо обдумувати плани на період, що значно перевищує термін нашого життя. Ми оцінюємо інших, фактично, за здатністю передбачити розвиток ситуації й виробити чіткі стратегії поведінки. Важлива функція будь-якого лідера – це передбачення майбутніх ситуацій, зважування можливих результатів і визначення відповідних цілей.

Іншими словами, ця форма свідомості означає вміння передбачати майбутнє, тобто створювати різні моделі, наближені до майбутніх подій. Це вимагає дуже досконалого розуміння здорового глузду і правил природи. Це означає, що ви постійно запитуєте себе: “А що, як...?” Незалежно, чи ви плануєте пограбувати банк, чи балотуватися в президенти, цей тип планування вимагає вміння прокручувати в голові численні гіпотетичні сценарії майбутнього.

Усе вказує на те, що це мистецтво опанували тільки люди.

Це також можна побачити при аналізі психологічних профілів людей, що проходять психологічні тести. Психологи часто порівнюють психологічні профілі дорослих з їхніми профілями в дитинстві. Тоді постає запитання: Яка риса зумовила їхній успіх у шлюбі, кар’єрі, примноженні достатку тощо? Якщо відокремити соціально-економічні чинники, то можна зауважити, що одна риса вирізняється з-поміж усіх інших: здатність відкласти винагороду. Як свідчать тривалі дослідження Волтера Мішела з Колумбійського університету і багатьох інших, ті діти, що вміли утриматись від миттєвої винагороди (тобто від одного маршмеллова) і воліли почекати довше на більшу винагороду (два маршмеллова замість одного), завжди в

майбутньому демонстрували кращі результати майже в кожній сфері – у вступних тестах, у житті, в коханні і в кар’єрі.

Однак здатність відкладати винагороду на пізніше також пов’язана з вищим рівнем свідомості. Ці діти зуміли уявити майбутнє й усвідомити, що в майбутньому винагорода буде вища. Отже, вміння побачити майбутні наслідки наших дій вимагає вищого рівня свідомості.

Розробники штучного інтелекту повинні намагатися створити робота з усіма цими вміннями. Першого вміння – відчувати й розпізнавати середовище – досягнути важко, оскільки роботи можуть відчувати середовище, але не розуміють того, що відчувають. Самосвідомлення досягнути простіше. Проте планування майбутнього вимагає здорового глузду – інтуїтивного розуміння того, що можливо, а що неможливо, і чітких стратегій для досягнення конкретних цілей.

Отже, бачимо, що здоровий глузд – це обов’язкова передумова для вищого рівня свідомості. Аби моделювати дійсність і передбачати майбутнє, робот мусить спершу опанувати мільйони правил здорового глузду про світ навколо нього. Проте самого здорового глузду недостатньо. Здоровий глузд – це тільки “правила гри”, радше ніж правила побудови стратегій і планування.

У цьому ракурсі можна оцінити всіх тих роботів, яких уже створили.

Бачимо, що *Deep Blue*, робот для гри в шахи, на цій шкалі перебуває дуже низько. Він може виграти у чемпіона світу з шахів, але більше не вміє нічого. Він може змоделювати дійсність, але тільки стосовно гри в шахи. Він не здатний змоделювати жодної іншої дійсності. Це стосується багатьох найпотужніших у світі комп’ютерів. Вони досконалі в моделюванні поведінки якогось одного об’єкта чи явища – наприклад, ядерного вибуху, потоків вітру навколо реактивного літака чи погоди. Ці комп’ютери можуть прокручувати сценарії дійсності значно краще за людей. Однак вони водночас дуже одномірні, а отже, не придатні для виживання в реальному світі.

Сьогодні розробники штучного інтелекту не мають жодного уявлення, як продублювати всі ці процеси в роботі. Більшість здійснюють у відчай руки й кажуть, що величезні мережі комп’ютерів якимось продемонструють “емерджентні явища” так само, як іноді з хаосу спонтанно виникає порядок. Коли їх запитують, як саме ці емерджентні явища створюють свідомість, більшість просто розводять руками.

Хоча ми не знаємо, як створити робота зі свідомістю, ми можемо уявити, використовуючи цю схему для вимірювання свідомості, як виглядав би робот, якби він був досконалішим за нас.

Такі роботи досконало володіли б третьою здатністю: вони б уміли набагато краще за нас прокручувати складні сценарії майбутнього, з більшої кількості ракурсів і з більшою кількістю деталей та більшою глибиною. Їхні моделі майбутнього були б точніші за наші, тому що вони краще володіли б здоровим глуздом і правилами природи, а отже, краще виявляли б закономірності. Вони б передбачали проблеми, які ми б могли зігнорувати чи взагалі не зауважити. Щобільше, вони могли б ставити власні цілі. Якщо їхні цілі передбачатимуть допомогу людству, то все добре. Однак якщо одного чудового дня вони визначать цілі так, що люди виявляться для них зайвими, то це може мати сумні наслідки.

Отже, постає наступне питання: Що при такому сценарії станеться з людьми?

## КОЛИ РОБОТИ ПЕРЕВЕРШАТЬ ЛЮДЕЙ

В одному сценарії ми, слабкі люди, просто опиняємось на узбіччі як пережиток еволюції. Згідно з законом еволюції, більш пристосовані види витісняють менш пристосовані, і, можливо, люди стануть жертвою в цих перетасуваннях і зрештою опиняться в зоопарках, куди наші творіння-роботи приходитимуть подивитись на нас. Можливо, така наша доля: створити суперроботів, які трактуватимуть нас як дуже примітивну ланку в своїй еволюції. Можливо, в цьому полягає наша історична роль – витворити наших наступників в еволюції. В такому разі ми мусимо поступитися їм дорогою.

Дуглас Гофштадтер сказав мені по секрету, що це могло б бути природним порядком речей, але ми повинні ставитись до цих надрозумних роботів як до власних дітей, бо в деякому сенсі вони і є нашими дітьми. Якщо ми можемо дбати про своїх дітей, сказав він мені, то чому ми не можемо так само дбати про розумних роботів, які теж є нашими дітьми?

Ганс Моравек роздумує, як ми могли б почуватися, якби наші роботи нас перевершили: "...життя може втратити сенс, якщо ми будемо приречені проводити його, тупо витріщаючись на наші творіння, коли ті намагатимуться описати нам спрощеною мовою, яку ми будемо здатні зрозуміти, свої дедалі більш приголомшливі відкриття".<sup>20</sup>

Щойно нарешті настане той доленосний день, коли роботи стануть розумнішими за нас, ми не тільки перестанемо бути найрозум-

нішими створіннями на Землі, а й наші творіння, ймовірно, зможуть продукувати копії самих себе, що будуть навіть розумнішими за них. Ця армія самовідтворних роботів породить безліч майбутніх поколінь роботів – кожне розумніше за попереднє. Оскільки роботи, теоретично, можуть створювати дедалі розумніші покоління роботів за дуже короткий проміжок часу, врешті-решт цей процес різко пришвидшиться, і роботи почнуть пожирати ресурси планети, гнані ненаситною потребою ставати щораз розумнішими.

Згідно з одним сценарієм, ця безмежна жадоба дедалі більшого інтелекту зрештою виснажить ресурси цілої планети, і ціла Земля стане комп'ютером. Дехто передбачає, що потім ці надрозумні роботи вирушать у космос у пошуках нового інтелекту й досягнуть інших планет, зірок і галактик, аби перетворити їх на комп'ютери. Але оскільки планети, зірки й галактики розташовані так неймовірно далеко, то, можливо, цей комп'ютер зуміє змінити закони фізики і його ненажерливий апетит зможе рухатися швидше від світла, щоб проковтнути цілі сонячні системи й галактики. Дехто навіть вважає, що він може проковтнути цілий Усесвіт і Всесвіт стане розумним.

Це “сингулярність”. Цей термін первинно походить із релятивістської фізики, моєї власної спеціальності, де сингулярність означає точку з безмежним тяжінням, з якої ніщо не може втекти, – на кшталт чорної діри. Оскільки з такої точки не може втекти навіть світло, то це горизонт, поза яким бачити неможливо.

Ідея про сингулярність штучного інтелекту вперше прозвучала 1958 року в розмові між двома математиками – Станіславом Улямом (який здійснив основний прорив у створенні водневої бомби) і Джоном фон Нойманном. Улям написав: “В одній розмові йшлося про дедалі швидший поступ технологій і зміни в укладі життя людей, що схоже на наближення до якоїсь важливої сингулярності в історії людства, після якої попередній стиль життя вже не зможе продовжуватись”.<sup>21</sup> Упродовж кількох десятиріч різні версії цієї ідеї з'являлися і зникали. А пізніше цю ідею популяризував у своїх романах і оповіданнях письменник-фантаст і математик Вернор Віндж.

Однак це залишає без відповіді головне питання: Коли настане ця сингулярність? За нашого життя? Можливо, в наступному сторіччі? Чи ніколи? Пригадуємо, що учасники Асиломарської конференції 2009 року називали різні дати в проміжку від наступних 20 до 1000 років.



Один із прибічників ідеї сингулярності – винахідник і автор бестселерів Рей Курцвейл, котрий любить робити передбачення на основі експоненціального зростання технологій. Курцвейл якось сказав мені, що дивлячись уночі на зірки, він думає, що десь на небі мають бути якісь космічні ознаки сингулярності, що відбувається в якійсь далекій галактиці. Якщо внаслідок швидкого розширення сингулярності зникають або змінюються цілі сонячні системи, то після цього мусять залишатись якісь сліди. (Критики кажуть, що він нагнітає довкола ідеї сингулярності мало не релігійний запал. Утім, його прихильники вважають, що він має дивовижну здатність правильно передбачати майбутнє, якщо судити з минулого досвіду.)

Курцвейл опанував основні закони комп'ютерної революції, створюючи компанії в різних сферах, пов'язаних із комп'ютерним розпізнаванням образів, – таких, як технології розпізнавання мовлення, оптичне розпізнавання символів і прилади з електронною клавіатурою. У 1999 році він написав бестселер *Ера одухотворених машин: Коли комп'ютери перевершать людський інтелект*, де передбачив, коли саме роботи обженуть нас за рівнем інтелекту. У 2005 році він написав книжку *Сингулярність близько*, в якій розвинув далі попередні припущення. Доленосний день, коли комп'ютери перевершать інтелект людини, наставатиме поступово.

Курцвейл прогнозує, що до 2019 року персональний комп'ютер вартістю 1000 доларів матиме стільки ж потужності, як і людський мозок. Невдовзі після цього комп'ютери залишать нас позаду. До 2029 року персональний комп'ютер вартістю 1000 доларів буде в 1000 разів потужніший за людський мозок. До 2045 року комп'ютер вартістю 1000 доларів буде в мільярд разів розумніший за мозок усіх людей разом узятих. Навіть малі комп'ютери перевершуватимуть можливості всього людства.

Після 2045 року комп'ютери стануть настільки досконалі, що зможуть створювати копії самих себе зі щораз більшим інтелектом, і це призведе до сингулярності, яку вже неможливо буде спинити. Аби задовольнити нескінченну, шалену жадобу комп'ютерної потужності, комп'ютери почнуть пожирати Землю, астероїди, планети й зірки і змінювати космологічну історію самого Всесвіту.

Я мав нагоду відвідати Курцвейла в його офісі неподалік Бостона. Йдучи коридором, я бачив нагороди й грамоти, які він одержав, а також деякі музичні інструменти, які він створив і якими тепер користуються відомі музиканти, як-от Стіві Вандер. Курцвейл розпо-

вів мені, що в його житті був один поворотний момент. Це сталося, коли йому несподівано в тридцятип'ятирічному віці діагностували діабет 2-го типу. Раптом він дуже чітко усвідомив, що може не дожити до того часу, коли його передбачення почнуть збуватися. Його організм, яким він багато років нехтував, зістарівся передчасно. Наляканий цим діагнозом, Курцвейл узявся за власне здоров'я з таким самим завзяттям і енергією, які колись докладав до комп'ютерної революції. (Сьогодні Курцвейл приймає понад 100 пігулок на день і пише книжки про революцію в довголітті. Він сподівається, що революція в сфері мікроскопічних роботів зможе очистити й полагодити людський організм так, що той зможе жити вічно. Його філософія полягає в тому, що він хотів би жити достатньо довго, аби дожити до проривів у медицині, які дадуть змогу продовжувати людське життя до безкінечності. Іншими словами, Курцвейл хотів би жити достатньо довго, щоб жити вічно.)

Недавно він почав реалізовувати амбітний проект – створення університету сингулярності на території дослідницького центру Еймса, що належить НАСА, в Каліфорнії. Цей університет має на меті підготувати науковців до майбутньої сингулярності.

Є чимало варіантів і комбінацій цих різноманітних тем.

Сам Курцвейл вважає: “Це не буде вторгнення розумних роботів, що раптом з'являться з-за горизонту. Ми зіллємося з цією технологією... Ми вживлятимемо ці розумні пристрої в наші тіла й мозок, і вони допоможуть нам жити довше й бути здоровішими”.<sup>22</sup> Будь-яка ідея, настільки контroversійна, як сингулярність, неминуче викликає зворотну реакцію. Мітч Капор, засновник корпорації *Lotus Development Corporation*, каже, що сингулярність – це “теорія розумного задуму для людей з високим IQ ... Ця ідея, що ми прямуємо до точки, після якої все стане просто неймовірно інакшим, – думаю, за цим усім насправді стоять якісь релігійні мотиви. І все це енергійне жестикулювання не може приховати від мене цього факту”.<sup>23</sup>

Дуглас Гофштадтер сказав: “Це так, ніби ви взяли багато доброї їжі і трохи собачих екскрементів і все змішали і тепер не можете зрозуміти, що добре, а що погано. Це суміш дурниць і добрих ідей, де все переплуталось, і тепер дуже важко відділити одне від іншого, тому що все це розумні люди, вони не дурні”.<sup>24</sup>

Ніхто не знає, що з цього всього вийде. Але я думаю, що найімовірніший сценарій такий.

## НАЙІМОВІРНІШИЙ СЦЕНАРІЙ: ДРУЖНІЙ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

Спочатку науковці, мабуть, уживуть якихось простих заходів, щоб роботи не стали небезпечними. Щонайменше, розробники можуть умістити в мозок роботів чіп, який автоматично їх вимкне, якщо у них з'являться думки про насильство. При такому підході всі розумні роботи будуть оснащені механізмом, що гарантує абсолютну надійність, і будь-яка людина зможе активувати цей механізм у будь-який момент, особливо якщо робот почне поводитись невідповідно. При найменших ознаках того, що робот вийшов із ладу, його можна буде миттєво вимкнути будь-якою голосовою командою.

Або ж науковці можуть створити спеціальних роботів-мисливців, чийм обов'язком буде нейтралізувати роботів, що вийшли з ладу. Ці роботи-мисливці будуть спеціально спроектовані так, що матимуть більшу швидкість, силу й координацію рухів, аби спіймати роботів, що вийшли з ладу. Вони розумітимуть слабкі місця будь-якої робототехнічної системи і знатимуть, як роботи поведуться в тих чи інших умовах. Людей теж можна цього навчити. У фільмі *Той, що біжить по лезу* особливий підрозділ агентів (серед них і той агент, чію роль виконує Гаррісон Форд) володіє спеціальними методами, як нейтралізувати будь-якого “зламаного” робота.

Потрібно буде багато десятиріч наполегливої праці, щоб роботи повільно піднімались еволюційною шкалою, – отже, не буде такого раптового моменту, коли людей заскочать зненацька й заженуть у зоопарки, як худобу. Свідомість, як ми її розуміємо, – це процес, який можна вимірювати за певною шкалою, радше ніж раптова подія в ході еволюції; роботам буде потрібно багато десятків років, щоб піднятися по цій шкалі свідомості. Зрештою, Матінка Природа створювала людську свідомість мільйони років. Відтак для людей не настане такого дня, коли інтернет раптово “пробудиться” чи роботи почнуть самостійно розробляти плани.

Такий варіант подобається письменнику-фантасту Айзеку Азімову, який передбачив, що всіх роботів проектуватимуть з урахуванням трьох законів, щоб вони не вийшли з-під контролю. Він вигадав знамениті три закони робототехніки, які мають не давати роботам завдати шкоди собі чи людям. (По суті, ці три закони зводяться до того, що роботи не можуть шкодити людям, мусять коритися людям і захищати себе – саме в такій послідовності.)

(Навіть з трьома законами Азімова виникають проблеми, коли ці закони суперечать один одному. Наприклад, якщо хтось створить доброго робота, то що станеться, якщо людство надумає зробити щось згубне для себе, що загрожуватиме його існуванню? Тоді доброзичливий робот може вирішити, що треба захопити уряд, щоб не дати людству зашкодити собі. Саме з такою проблемою зіткнувся Вілл Сміт у фільмі *Я, робот*, коли центральний комп'ютер вирішив, що “треба пожертвувати деякими людьми і відмовитись від деяких свобод”, щоб урятувати людство. Аби не дати роботам поневолити нас заради того, щоб нас урятувати, дехто запропонував додати ще один – нульовий – закон робототехніки: Роботи не можуть шкодити людству чи поневолювати його.)

Однак багато науковців схиляються до так званої концепції “дружнього штучного інтелекту”, в якій ми від самого початку проектуватимемо роботів так, щоб вони були добрі. Оскільки ми самі творці цих роботів, то ми й проектуватимемо їх так, щоб вони виконували тільки корисні для нас функції.

Термін “дружній штучний інтелект” вигадав Елізер Юдковський, один із засновників Інституту сингулярності. Дружній штучний інтелект трохи відрізняється від законів Азімова, які нав'язуються роботам, можливо, проти їхньої волі. (Закони Азімова, нав'язані ззовні, насправді можуть спонукати роботів вигадати якісь хитромудрі способи, як їх обійти.) В концепції дружнього штучного інтелекту роботи теоретично можуть убивати й чинити безлад. Немає жодних правил, що насаджують якусь штучну мораль. Натомість ці роботи від самого початку спроектовані так, що хочуть допомагати людям, а не нищити їх. Вони самі хочуть бути добрими.

Це спричинило появу нової сфери з назвою “соціальна робототехніка”, що має на меті наділити роботів такими властивостями, які допоможуть їм інтегруватися в людське суспільство. Приміром, науковці в компанії *Hanson Robotics* заявили, що одне із завдань їхніх досліджень – створити роботів, що “еволюціонують у соціально розумних істот, здатних любити й достойних займати місце в розширеній людській родині”.<sup>25</sup>

Проте однією проблемою всіх цих підходів є те, що найбільшим спонсором розроблення систем штучного інтелекту наразі залишається армія, і військові роботи спеціально розроблені так, щоб переслідувати, вистежувати й убивати людей. Легко уявити собі майбутніх солдатів-роботів, чиєю місією буде визначати представників

ворожій стороні і знищувати їх з непомильною точністю. Довелося б уживати якихось надзвичайних запобіжних заходів, які б гарантували, що й ці роботи не підуть проти своїх господарів. Приміром, безпілотними літаками-роботами *Predator* керують дистанційно – їхній рух постійно визначає людина, але одного дня ці літаки можуть стати автономними, здатними самостійно обирати цілі й стріляти по них. Збій у системі такого автономного літака може мати катастрофічні наслідки.

Однак у майбутньому щораз більше грошей для розроблення роботів надходитиме від цивільного комерційного сектора, особливо з Японії, де роботів проєктують так, щоб вони радше допомагали, ніж убивали. Якщо ця тенденція збережеться, то, мабуть, дружній штучний інтелект стане реальністю. При цьому сценарії головну роль у розвитку робототехніки виконуватимуть споживчий сектор і ринкові сили, отже, з'явиться потужний комерційний інтерес інвестувати в дружній штучний інтелект.

## ЗЛИТТЯ З РОБОТАМИ

На додаток до дружнього штучного інтелекту є ще й інший варіант: ми можемо злитися з нашими творіннями. Замість того, аби просто чекати, коли роботи перевершать нас за інтелектом і можливостями, нам варто спробувати вдосконалити себе і стати суперлюдьми. Думаю, найімовірніше, в майбутньому ми переслідуватимемо одночасно обидві ці мети: створення дружнього штучного інтелекту і вдосконалення самих себе.

Цей варіант досліджує Родні Брукс, колишній директор знаменитої лабораторії штучного інтелекту Массачусетського інституту технологій. Він завжди був індивідуалістом, який розвінчував старанно виплекані, але застарілі ідеї й запроваджував інновації. Коли він тільки почав працювати в сфері штучного інтелекту, у більшості університетів домінував підхід “згори донизу”. Але галузь переживала застій. Брукс викликав деяке здивування, коли запропонував створити армію комахоподібних роботів, які б училися через підхід “знизу догори”, натикаючись на перешкоди. Він не мав охоти конструювати ще одного тупого й незграбного робота, який би пересувався з кінця в кінець кімнати кілька годин. Натомість він створював спритних “інсектоїдів”, що майже зовсім не мали програмування,

але швидко вчилися пересуватися й оминати перешкоди методом проб і помилок. Брукс передбачав, що настане день, коли його роботи досліджуватимуть Сонячну систему, натикаючись дорогою на різні об'єкти. На той час це була дуже екстравагантна ідея, яку він виклав у праці *Швидко, дешево і некеровано*, але з часом його підхід відкрив кілька нових напрямів дослідження. Один із побічних продуктів його ідеї – це марсохід, що зараз мандрує поверхнею Червоної планети. Не дивно, що Брукс також був керівником компанії *iRobot*, що продає по всій країні побутові комахоподібні пилососи.

Однією з проблем науковець вважає те, що працівники в сфері штучного інтелекту наслідують моду й використовують парадигму, що популярна в конкретний момент, замість того, щоб мислити нетрадиційно. Приміром, він пригадує: “В дитинстві я мав книжку, в якій мозок порівнювався з телефонним комутатором. У попередніх книжках його порівнювали з гідродинамічною системою або з паровим двигуном. Пізніше, в 1960-х роках, він став цифровим комп'ютером. У 1980-х він став цифровим комп'ютером з паралельними процесорами. Мабуть, десь є така дитяча книжка, в якій сказано, що мозок схожий на всесвітню павутину...”<sup>26</sup>

Наприклад, дехто з істориків зауважив, що Зігмунд Фройд аналізував розум під впливом появи парового двигуна. Поширення в Європі залізниць у період від середини до кінця дев'ятнадцятого сторіччя істотно вплинуло на мислення інтелектуалів. Фройд змалював картину, де в мозку людини одні потоки енергії постійно змагаються з іншими, майже так само, як у паропроводах у двигуні. Постійна взаємодія між суперого, тобто підсвідомістю, й его нагадує постійну взаємодію між паропроводами в локомотиві. Якщо пригнічувати ці потоки енергії, то це може призвести до неврозу – аналогічно, якщо енергію пари закоркувати в замкнутому контейнері, то це може спричинити вибух.

Марвін Мінські зізнався мені, що багато років дослідників штучного інтелекту заводила на хибний шлях іще одна парадигма. Оскільки багато з них – колишні фізики, то існує щось таке як “заздрість до фізики”, тобто бажання знайти єдиний уніфікуючий принцип, що лежить в основі всього інтелекту. У фізиці ми прагнемо вслід за Айнштайном звести фізичний усесвіт до кількох основоположних рівнянь, можливо, знайти одне коротке рівняння, яке б звело суть усього Всесвіту до єдиної зв'язної ідеї. Мінські вважає, що “заздрість до фізики” спонукала дослідників штучного інтелекту шукати єдиного уніфікуючого принципу для свідомості. Однак, на його думку,

такого принципу не існує. Еволюція навмання зліпила докупи різні засоби, що їх усі разом ми називаємо свідомістю. Розберіть мозок на частини – і ви виявите незв'язний набір мінімозків, кожний з яких призначений виконувати конкретну функцію. Він називає це “суспільством розумів”: свідомість – це насправді сума багатьох окремих алгоритмів і засобів, на які природа натрапляла випадково впродовж мільйонів років.

Родні Брукс теж шукав схожу парадигму, але таку, якої досі ще ніхто повністю не випробував. Він швидко зрозумів, що Матінка Природа й еволюція вже розв'язали багато з цих проблем. Наприклад, комар, що має лише кілька сотень тисяч нейронів, у дечому перевершує нашу найпотужнішу військову роботизовану систему. На відміну від наших безпілотних літаків, комарі, чий мозок менший від головки шпильки, вміють самотійно оминати перешкоди, знаходити їжу і партнерів. Чому б не повчитися в природи й біології? Якщо простежити за ходом еволюції, то легко виявити, що в мозку комах і мишей не було запрограмовано правил логіки. Ці істоти навчились орієнтуватися в світі й опанували мистецтво виживання методом проб і помилок.

Тепер Брукс працює над іще однією еретичною ідеєю, що викладена в його праці *Злиття плоті і машин*. Він звертає увагу на те, що старі лабораторії в Массачусетському технологічному інституті, де колись розробляли кремнієві компоненти для промислових і військових роботів, тепер звільняють для нового покоління роботів, що будуть створені з живих тканин і водночас з кремнію і сталі. Він передбачає появу абсолютно нового покоління роботів, у якому буде поєднано біологічну й електронну системи і створено цілком нову архітектуру для роботів.

Він пише: “Мій прогноз полягає в тому, що до 2100 року ми матимемо дуже розумних роботів усюди в нашому повсякденному житті. Але ми не існуватимемо окремо від них – радше, ми самі будемо частково роботами і з'єднані з роботами”.<sup>27</sup>

Він передбачає, що ми йтимемо до цього поступово. Сьогодні у нас відбувається революція в протезуванні – ми вживляємо електронні пристрої безпосередньо в тіло людини, аби створити реалістичну заміну слуху, зору та інших функцій. Приміром, штучна завитка вуха здійснила революцію в аудіології, повернувши глухим людям дар слуху. Ці штучні завитки з'єднують електронне “залізо” з біологічною м'якою речовиною, тобто нейронами. Завитковий імплантат

має декілька компонентів. Іззовні вуха розташований мікрофон. Він приймає звукові хвилі, перетворює їх і передає по радіо сигнали імплантату, вміщеному всередину вуха хірургічним способом. Імплантат приймає радіоповідомлення і конвертує їх в електричні струми, які передаються електродами у вуха. Завитка розпізнає ці електричні імпульси й посилає їх у мозок. Такі імплантати можуть використовувати до двадцяти чотирьох електродів і працювати з півдужиною частот – цього достатньо, щоб розуміти людський голос. На сьогодні 150 000 людей у цілому світі мають завиткові імплантати.

Декілька груп науковців шукають способів допомогти сліпим, створюючи штучний зір шляхом під'єднання камери до головного мозку. Один метод полягає в тому, щоб умістити кремнієвий чіп у сітківку ока і з'єднати з нейронами сітківки. Інший метод – під'єднати цей чіп за допомогою спеціального кабеля до задньої частини мозку, що відповідає за зір. Цим групам науковців уперше в історії вдалося частково відновити сліпим людям зір. Їхні пацієнти тепер бачать до 50 пікселів перед собою. З часом науковці, ймовірно, вдосконалять ці технології, і пацієнти зможуть бачити тисячі пікселів.

Ці пацієнти тепер бачать феєрверки, контури власних рук, об'єкти, що світяться, присутність автомобілів і людей, а також межі різних об'єктів. “На іграх Малої ліги я бачу, де стоять кетчер, беттер і арбітр”, – каже Лінда Морфут, одна з піддослідних.<sup>28</sup>

На сьогодні тридцять пацієнтів мають штучну сітківку, що містить до шістдесяти електродів. Утім проект зі створення штучної сітківки міністерства енергетики США, розташований на території Університету Південної Каліфорнії, вже планує нову систему, що міститиме понад 200 електродів. Крім того, зараз досліджують пристрій із 1000 електродів (однак якщо в чіп умістити занадто багато електродів, це може призвести до перегріву сітківки). У цій системі мініатюрна камера, прикріплена до окулярів сліпої людини, робить знімки й посилає їх бездротовим зв'язком на мікропроцесор, який носять на поясі, а мікропроцесор передає інформацію на чіп, розміщений безпосередньо на сітківці. Цей чіп посилає короткі імпульси на ті нерви сітківки, які залишаються активними, оминаючи таким чином ушкоджені клітини сітківки.



## РОБОТИЗОВАНА РУКА ІЗ ЗОРЯНИХ ВІЙН

Використовуючи досягнення у сфері механічних пристроїв, можна також відтворити трюки з наукової фантастики, зокрема роботизовану руку із *Зоряних війн* та рентгенівський зір Супермена. У фільмі *Імперія завдає удару у відповідь* Дарт Вейдер відрубає світловою шаблею руку Люкові Скайвокеру, своєму синові. Нічого страшного. Науковці в цій далекій галактиці швидко створюють нову механічну руку з пальцями, що можуть торкатися предметів і відчувати їх.

Це може здаватись фантастикою, але ці технології вже існують. Значного поступу домоглися науковці в Італії й Швеції, котрі справді створили роботизовану руку, яка може “відчувати”. Один пацієнт, Робін Екенштам, двадцятидворічний чоловік, якому ампутували праву руку, щоб видалити ракову пухлину, тепер може керувати рухами своїх механічних пальців і відчувати реакцію. Лікарі з’єднали нерви в передпліччі Екенштама з чіпами в механічній руці, так що його мозок може керувати рухами пальців. Штучна “розумна рука” має чотири мотори й сорок сенсорів. Рухи механічних пальців, своєю чергою, передаються до мозку, отже, Екенштам має зворотний зв’язок. Таким способом він керує рухами руки й водночас “відчуває” ці рухи. Оскільки зворотний зв’язок – це одна з найважливіших властивостей тіла, ця технологія може кардинально змінити підхід до протезування людей з ампутованими кінцівками.

Екенштам каже: “Це чудово. Я зараз відчуваю щось таке, чого не відчував довгий час. До мене повертається відчуття дотику. Якщо я міцно схоплю якийсь предмет, то відчуваю його кінчиками пальців, і це дивно, бо в мене вже немає пальців”.<sup>29</sup>

Один із дослідників, Крістіан Чіпріані з Вищої школи Святої Анни каже: “Спочатку мозок керує механічною рукою без скорочення м’язів. Потім рука посилає пацієнтові сигнали, так що він зможе відчувати. Зовсім як справжня рука”.

Це досягнення важливе, оскільки означає, що одного дня люди зможуть легко керувати механічними кінцівками, так наче вони створені з плоті й кісток. Замість того, щоб довго й нудно вчитися рухати металевими руками й ногами, люди сприйматимуть ці механічні додатки як справжні кінцівки, відчуваючи кожний нюанс їхнього руху за допомогою електронних механізмів зворотного зв’язку.

Це також підтверджує теорію, що мозок надзвичайно пластичний, не фіксований, що він постійно оновлює свої мережі, коли

вчиться нових завдань і пристосовується до нових ситуацій. Відтак мозок, очевидно, достатньо гнучкий, щоб прийняти будь-який новий додаток чи орган чуття. Ці додатки можуть бути приєднані до мозку в різних місцях, і мозок просто “навчиться” ними керувати. В такому разі мозок можна розглядати як модульний пристрій, що може під’єднуватись до різних додатків і сенсорів з різних пристроїв і керувати ними. Такого типу поведінки можна очікувати, якщо наш мозок – це своєрідна нейронна мережа, що створює нові з’єднання й нейронні траєкторії щоразу, як учитись нового завдання, хоч би яким було це завдання.

Родні Брукс пише: “Упродовж наступних десяти-двадцяти років відбудеться культурна зміна – ми приймемо роботизовані технології, кремній і сталь у наші тіла, щоб розширити наші фізичні можливості й краще зрозуміти світ”.<sup>30</sup> Аналізуючи успіхи науковців в Університеті Брауна й Університеті Дюка, яким удалося під’єднати мозок безпосередньо до комп’ютера чи механічної руки, Брукс робить висновок: “Не виключено, що ми можемо мати бездротовий інтернет-зв’язок, вживлений просто в мозок”.

Науковець передбачає, що на наступному етапі ми поєднуватимемо кремній з живими клітинами вже не лише задля того, аби виправити дефекти тіла, а й щоб поступово розширити наші можливості. Приміром, якщо сьогодні завиткові й ретинальні імплантати відновлюють слух і зір, то завтра вони можуть дати нам іще й надлюдські можливості. З ними ми могли б чути звуки, що доступні лише собакам, або бачити ультрафіолетові, інфрачервоні та рентгенівські промені.

Можливо, таким способом ми також зможемо підвищити наш інтелект. Брукс наводить приклади досліджень, у яких до мозку щура у важливий момент його розвитку додали кілька шарів нейронів. Дивовижно, але розумові здібності цих щурів покращились. Брукс передбачає, що в майбутньому таким самим способом можна буде вдосконалити інтелект людини. У наступних розділах ми побачимо, що біологи вже виявили у щурів ген, який журналісти нарекли “геном розумної миші”. Якщо мишам додати цей ген, то в них істотно поліпшується пам’ять і здатність учитися.

А до середини сторіччя, на думку Брукса, можуть стати можливими на перший погляд фантастичні зміни в людському тілі, що дадуть нам набагато більші можливості, ніж можливості звичайної людини. “За п’ятдесят років ми можемо очікувати радикальних змін у тілі людини за допомогою генної інженерії”. Якщо до цього додати

ще й електронні додатки, то “людський звіринець розростеться так, як ми сьогодні навіть не уявляємо... Ми більше не підкорятимемося законам еволюції Дарвіна”, – каже Брукс.<sup>31</sup>

Однак усе це, звісно, може зайти надто далеко. Наскільки далеко ми можемо зайти в злитті з нашими творіннями-роботами, щоб люди не почали бунтувати і вважати це огидним?

## СУРОГАТИ Й АВАТАРИ

Один зі способів злитися з роботами, не змінюючи людського тіла, – це створити сурогати й аватари. У фільмі *Сурогати* з Брюсом Віллісом у головній ролі науковці 2017 року винайшли спосіб, як люди можуть керувати роботами, немов перебуваючи всередині них, і таким чином проживати життя в досконалих тілах. Такий робот реагує на всі команди, а людина, своєю чергою, бачить і відчуває все, що бачить і відчуває робот. Тимчасом як наші смертні тіла старіють і в’януть, ми можемо керувати рухами нашого сурогата-робота, що має надлюдські можливості й досконалу форму. У фільмі все ускладнюється, оскільки люди воліють проживати життя як гарні, стрункі й надпотужні роботи, покинувши власні тлінні тіла, що надійно сховані подалі від очей. Усе людство, по суті, добровільно перетворюється на роботів.

У фільмі *Аватар* усе заходить іще далі. Замість того, щоб проживати життя як досконалі роботи, ми 2154 року одержуємо шанс жити як інопланетяни. Наші тіла вміщують у спеціальні бокси, і це дає нам змогу керувати “аватарами” – спеціально клонованими інопланетними сутностями. У деякому сенсі, ми одержуємо цілком нові тіла, щоб жити на новій планеті. Таким способом ми можемо краще спілкуватися з аборигенами, що живуть на інших планетах. Фільм закінчується тим, що один робітник вирішує покинути землян і жити як інопланетянин, захищаючи інших інопланетян від бізнесменів-колонізаторів.

Ці сурогати й аватари неможливі сьогодні, але можуть стати можливими в майбутньому.

Нещодавно робота *ASIMO* запрограмували з новою ідеєю: дистанційним керуванням за допомогою мозкових сенсорів. У Кіотському університеті людей учать керувати механічними рухами роботів за допомогою мозкових сенсорів. Наприклад, надягнувши на голову шолом з електроенцефалографом, студенти можуть керувати рука-

ми й ногами *ASIMO* самою думкою. Наразі можливі тільки чотири окремі рухи рук і голови. Це може відкрити шлях до ще однієї сфери штучного інтелекту: роботів, керованих думкою.

Хоч це й доволі примітивна демонстрація торжества розуму над матерією, у майбутні кілька десятків років науковцям, очевидно, вдасться збільшити набір рухів робота, якими можна буде керувати самою думкою, а також створити зворотний зв'язок, так щоб ми могли "відчувати" нашими новими роботизованими руками. Спеціальні окуляри чи контактні лінзи дадуть нам змогу бачити те, що бачить робот, отже, врешті-решт ми можемо здобути повний контроль над його рухами.

Це може також частково розв'язати проблему імміграції для Японії. Робітники можуть перебувати в різних країнах і керувати роботами на відстані тисяч миль за допомогою мозкових сенсорів. Отже, інтернет зможе передавати думки не лише "білих комірців", а й "синіх комірців" і перетворювати ці думки на фізичні рухи. Це може означати, що роботи стануть обов'язковим елементом у будь-якій державі, що бореться зі зростанням витрат на охорону здоров'я і браком робочої сили.

Керування роботами за допомогою мозкових сенсорів може мати застосування і в інших сферах. У будь-якому небезпечному середовищі (наприклад, під водою, поблизу високовольтних ліній, на пожежі) роботів, керованих думкою, можна використовувати для порятунку людей. Або ж на дні моря роботів можна з'єднати безпосередньо з людьми, так щоб люди могли керувати цими роботами самою думкою. Оскільки сурогат мав би надлюдські можливості, то він міг би ловити злочинців (за умови, що ці злочинці не матимуть власних сурогатів з надлюдськими можливостями). Ми могли б мати всі переваги від злиття з роботами, зовсім не змінюючи наших тіл.

Така технологія насправді може виявитись корисною для космічних досліджень, коли нам треба буде керувати постійною базою на Місяці. Наші сурогати могли б виконувати всі небезпечні функції, пов'язані з обслуговуванням цієї бази, а астронавти тим часом залишалися б на Землі у безпеці. Досліджуючи поверхню позаземного об'єкта, астронавти використовували б надзвичайну силу й надлюдські можливості роботів. (Утім, це було б неможливо, якби астронавти перебували на Землі й хотіли керувати сурогатами на Марсі, оскільки радіосигнал долає відстань від Землі до Марса і назад приблизно за 40 хвилин. Але це було б можливо, якби астронавти залишалися на постійній базі на Марсі, в безпеці, а сурогати тим часом пересувалися б поверхнею Марса й виконували б усі небезпечні завдання.)

## ЯК ДАЛЕКО МОЖЕ ЗАЙТИ ЗЛИТТЯ З РОБОТАМИ

Піонер у галузі роботизації Ганс Моравек пішов на кілька кроків далі й уявив екстремальний варіант такого сценарію: ми стаємо такими самими роботами, як ті, яких ми самі створили. Він пояснив мені, як ми могли б з'єднатися з нашими творіннями-роботами за допомогою хірургічної операції, в якій кожний нейрон нашого мозку замінили б транзистором усередині робота. На початку цієї операції ми лежимо поряд із роботом, що не має мозку. Хірург-робот бере кожний кластер сірої речовини нашого мозку, дублює його, транзистор за транзистором, з'єднує нейрони з транзисторами і кладе транзистори в порожній череп робота. Після того як кожний кластер нейронів продубльований у роботі, його викидають. Ми перебуваємо в повній свідомості під час цієї делікатної операції. Частина нашого мозку залишається всередині нашого старого тіла, а інша частина тепер складається з транзисторів і перебуває всередині нашого нового тіла-робота. До кінця операції наш мозок повністю перенесено в тіло робота. Тепер ми маємо не тільки тіло робота, а й усі його переваги: безсмертя в надлюдському тілі, досконалому на вигляд. Це не буде можливо в двадцять першому сторіччі, але стане варіантом у двадцять другому.

У цьому радикальному сценарії ми повністю позбуваємося наших незграбних тіл і врешті-решт перетворюємось на чисті комп'ютерні програми, в яких закодовано нашу особистість. Ми повністю “завантажуємо” наші особистості в комп'ютер. Якщо хтось натисне на клавішу з вашим ім'ям, то комп'ютер поводитиметься так, наче всередині його пам'яті перебуваєте ви, оскільки він закодував у свої схемі всі риси вашого характеру. Ми стаємо безсмертними, однак проводимо час усередині комп'ютера, спілкуючись з іншими “людьми” (тобто іншими програмами) в якомусь гігантському кіберпросторі чи віртуальній реальності. Наше існування в тілі припиниться, його замінить рух електронів у цьому гігантському комп'ютері. У цій картині наше кінцеве призначення – перетворитися на рядки коду у величезній комп'ютерній програмі, де всі чуття фізичного тіла танцюватимуть у якомусь віртуальному раю. Ми обмінюватимемось глибокими думками з іншими рядками комп'ютерного коду, проживаючи цю грандіозну ілюзію. Ми здійснюватимемо геройські подвиги й завойовуватимемо нові світи, навіть не підозрюючи, що ми всього лиш електрони, що танцюють усередині якогось комп'ютера. Звісно, доки хтось не натисне на кнопку “вимкнути”.

Однак здійсненню цих сценаріїв може зашкодити Принцип печерної людини. Як ми вже зазначали, наш мозок – це, по суті, мозок примітивного мисливця і збирача плодів, які прийшли з Африки понад 100 000 років тому. Наші найглибші пристрасті, бажання й уподобання сформувались на африканських рівнинах, коли ми ховалися від хижаків, полювали за здобиччю, збирали в лісі плоди, шукали собі пару й розважались біля вогнища.

Одне з наших основних прагнень, що заховані глибоко в тканині наших думок, – це добре виглядати, особливо для протилежної статі й колег. Величезну частку доходу ми витрачаємо на зовнішність (після розваг). Саме тому такими популярними стають пластичні операції, ін'єкції ботоксу, засоби для догляду за тілом, вишуканий одяг, а також танцювальні секції, шейпінг, найновіша музика й підтримання доброї фізичної форми. Якщо скласти це все до купи, то це стає величезною часткою споживчих витрат, які, своєю чергою, підтримують велику частку економіки США.

Це означає, що, навіть маючи змогу створити досконалі, майже безсмертні тіла, ми, мабуть, таки відмовимося від цих роботизованих тіл, якщо з ними ми мали б виглядати як незграбні роботи з імплантатами, що теліпаються довкола голови. Ніхто не хоче виглядати як якийсь біженець із науково-фантастичного фільму. Якщо ми матимемо досконаліші тіла, то вони мусять зробити нас привабливими для протилежної статі й поліпшити нашу репутацію серед колег, бо інакше ми від них відмовимось. Який підліток хоче бути досконалішим, але виглядати по-дурному?

Дехто з письменників-фантастів висловив ідею, що ми всі відділимося від наших тіл й існуватимемо як безсмертні істоти з чистого інтелекту всередині якогось комп'ютера, заглиблені в думки. Але хто захотів би так жити? Можливо, наші нащадки не захочуть розв'язувати диференційні рівняння, що описують чорну діру. У майбутньому люди можуть схотіти проводити більше часу, слухаючи рок-музику старомодним способом, а не обчислювати рух субатомних частинок, живучи всередині комп'ютера.

Грег Сток із Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі підтримує цю думку, вбачаючи мало переваг у тому, щоб під'єднати наш мозок до суперкомп'ютера. Він каже: "Коли я намагаюсь уявити, що міг би виграти, якби мав безпосередній зв'язок між мозком і суперкомп'ютером, то зупиняюсь, коли наполягаю на таких двох критеріях: переваг, які це дасть, мусить бути неможливо досягнути

якимсь іншим, неінвазивним способом і ці переваги мусять вартувати незручностей, пов'язаних із операцією на мозку”.<sup>32</sup>

Отже, хоч існує багато сценаріїв майбутнього, я особисто вважаю найімовірнішим те, що ми створюватимемо роботів так, щоб вони були добрі й дружні до нас, якоюсь мірою ми розширимо наші фізичні можливості, однак дотримуватимемося Принципу печерної людини. Ми пристанемо на те, щоб тимчасово пожити як супер-роботи через сурогатів, однак не схочемо жити постійно всередині комп'ютера або змінити тіло до непізнання.

## ПЕРЕШКОДИ НА ШЛЯХУ ДО СИНГУЛЯРНОСТІ

Ніхто не знає, коли роботи зможуть стати такими самими розумними, як люди. Але особисто я думаю, що це станеться радше десь наприкінці цього сторіччя з кількох причин.

По-перше, разючий поступ у сфері комп'ютерних технологій досі був зумовлений законом Мура. Цей поступ почне сповільнюватись і навіть може зовсім зупинитись близько 2020-2025 років, тож невідомо, чи ми можемо з якоюсь достовірністю планувати темпи розвитку комп'ютерів після цієї дати. (Докладніше про посткремнієву епоху див. розділ 4.) У цій книжці я припустив, що комп'ютерна потужність зростатиме й надалі, однак повільніше.

По-друге, навіть якщо комп'ютер може проводити обчислення з фантастичною швидкістю (скажімо,  $10^{16}$  обчислень за секунду), то це не обов'язково означає, що він розумніший за нас. Приміром, *Deep Blue*, комп'ютер для гри в шахи, який створила компанія *IBM*, міг аналізувати 200 мільйонів позицій за секунду і виграв у чемпіона світу. Але *Deep Blue*, попри всю його швидкість і обчислювальну потужність, не вмів робити більше нічого. Справжній інтелект, як ми вже дізнались, – це значно більше, ніж здатність прораховувати позиції в шахах.

Наприклад, аутисти-саванти здатні на дивовижні трюки з запам'ятовуванням і обчисленням. Проте їм складно зав'язати собі шнурівки, знайти роботу чи давати собі раду в суспільстві. Покійний Кім Пік – він був такий чудовий, що його незвичайне життя стало основою для фільму *Людина дощу*, – запам'ятав кожне слово у 12 000 книжок і вмів виконувати такі обчислення, які міг перевірити тільки комп'ютер. Однак його IQ був 73, йому було складно підтримувати розмову і він потребував постійної сторонньої допо-

моги. Без допомоги батька він був здебільшого безпорадний. Іншими словами, надшвидкі комп'ютери майбутнього будуть схожі на аутистів-савантів – вони зможуть запам'ятовувати величезні обсяги інформації, але більше не вмітуть майже нічого й будуть нездатні самостійно виживати в реальному світі.

Навіть якщо комп'ютери досягнуть обчислювальної швидкості мозку, вони все одно не матимуть необхідних програм, щоб діяти цілком самостійно. Досягнення обчислювальної швидкості мозку – це лише скромний початок.

По-третє, навіть якщо розумні роботи можливі, невідомо, чи робот може створити таку копію себе, яка була б розумнішою за оригінал. Математику самовідтворення роботів першим розробив математик Джон фон Нойманн, який винайшов теорію ігор і допоміг створити електронний комп'ютер. Він першим порушив питання про визначення мінімального числа вихідних умов, необхідних для того, щоб машина змогла створити копію самої себе. Однак він ніколи не порушував питання, чи може робот створити таку копію себе, яка була б розумнішою за нього. Фактично, саме значення слова “розумний” проблематичне, оскільки немає єдиного універсально прийнятого визначення цього слова.

Звичайно, робот міг би створити копію самого себе з більшою пам'яттю і більшою здатністю обробки даних, просто наростивши обчислювальні можливості й додавши чіпів. Але чи означає це, що ця копія розумніша, чи вона просто швидша? Наприклад, арифмометр у мільйони разів швидший за людину, він має значно більшу пам'ять і більшу швидкість обробки даних, але він аж ніяк не розумніший. Отже, інтелект – це щось більше, ніж просто пам'ять і швидкість.

По-четверте, хоч потужність комп'ютерного устаткування може зростати експоненціально, цього не скажеш про комп'ютерні програми. Комп'ютерне устаткування вдосконалювалось у результаті того, що на кремнієвій підкладці протравлювали щораз менші транзистори; тим часом програмне забезпечення абсолютно інакше – воно вимагає людини, яка мусить сидіти з олівцем і папером і писати програму. Це й є обмежувальний чинник – людина.

Програмне забезпечення, як і вся творча діяльність людини, розвивається стрибками – блискучі осяяння змінюються довгими періодами тяжкої, нудної праці й стагнації. На відміну від комп'ютерного устаткування, чия якість залежить безпосередньо від кількості транзисторів і зростає, як за годинником, програмне забезпечення зале-



жить від непередбачуваної природи людської творчості й настрою. Тому всі прогнози стосовно стабільного експоненціального зростання комп'ютерної потужності треба уточнити. Ланцюг не може бути міцніший за свою найслабшу ланку, а найслабша ланка – це комп'ютерні програми, які пишуть люди.

Устаткування часто вдосконалюється експоненціально, особливо якщо йдеться просто про досягнення більшої ефективності – зокрема вирізання щораз більшої кількості транзисторів на кремнієвій підкладці. Однак у сфері фундаментальних досліджень, що вимагають талану, вміння й несподіваних геніальних здогадок, поступ більше схожий на “переривчасту рівновагу” – після довгих періодів, коли майже нічого не відбувається, настають раптові прориви, що змінюють увесь ландшафт. Якщо подивитись на історію фундаментальних досліджень, він Ньютона до Айнштейна й до теперішнього часу, то можна побачити, що термін “переривчаста рівновага” найбільше відповідає поступу в цій сфері.

По-п'яте, як ми вже побачили, зворотну розробку мозку, очевидно, вдасться завершити не раніше, ніж у середині цього сторіччя, з уваги на величезну вартість цього проекту і його масштаб. А на те, щоб зрозуміти всі ці дані, може піти ще багато десятиріч, відтак остаточна зворотна розробка мозку відсунеться на кінець цього сторіччя.

По-шосте, мабуть, не варто очікувати “великого вибуху”, коли роботи раптом стануть свідомі. Якщо ми розуміємо свідомість як, зокрема, здатність складати плани на майбутнє, прокручуючи в голові різні сценарії, то це означає, що є певний спектр свідомості. Роботи поволі підніматимуться цією шкалою, даючи нам удосталь часу, щоб підготуватись. Це станеться, на мою думку, ближче до кінця цього сторіччя, тож є достатньо часу, щоб розглянути різні можливі варіанти. До того ж свідомість у роботів, імовірно, матиме свої особливості. Отже, спершу розвинеться якась форма “кремнієвої свідомості”, радше ніж повністю людська свідомість.

Однак це порушує інші питання. Хоча є механічні способи вдосконалити наші тіла, існують теж і біологічні способи. Фактично, уся суть еволюції зводиться до відбору кращих генів; то чом би нам не заощадити мільйони років еволюції й не взяти нашу генетичну долю у власні руки?

Ніхто просто не наважується цього сказати, але якби ми могли вдосконалити людську природу, навчившись додавати гени, то чому б нам цього не зробити?

– ДЖЕЙМС ВАТСОН, ЛАУРЕАТ НОБЕЛІВСЬКОЇ ПРЕМІЇ

Насправді я не думаю, що до кінця цього сторіччя у нашому тілі ще залишаться для нас якісь таємниці. А тому все, що ми спроможемося вигадати, ймовірно, стане дійсністю.

– ДЕВІД БАЛТІМОР, ЛАУРЕАТ НОБЕЛІВСЬКОЇ ПРЕМІЇ

Не певен, що час уже настав, але він близько. Боюся, що, на жаль, я належу до останнього покоління, якому судилося померти.

– ДЖЕРАЛЬД СУССМАН

## 3 МАЙБУТНЄ МЕДИЦИНИ

### *Досконалість і далі*

Міфічні боги мали абсолютну владу – владу над життям і смертю, вони могли зцілювати хворих і продовжувати життя. Найперше, про що ми просили богів у своїх молитвах, – це позбавити нас від хвороб і немочі.

У грецькій і римській міфології є легенда про Еос, прекрасну богиню світанку. Одного дня вона до нестями закохалася в смертного красеня Тіфона. Еос мала досконале тіло й була безсмертна, однак Тіфон мусив із часом постаріти, зів'янути і вмерти. Вирішивши врятувати коханого від цієї сумної долі, богиня вблагала Зевса, батька богів, дарувати Тіфону безсмертя, щоб вони могли проводити вічність разом. Зевс змилювався над закоханими й виконав прохання Еос.

Однак Еос у поспіху забула попросити Зевса про вічну молодість для свого коханого. Тож Тіфон став безсмертним, але його тіло постаріло. Він не міг умерти, але ставав щораз хирлявіший, і йому довелося жити вічність у болі й стражданні.

Саме такий виклик стоїть перед наукою двадцять першого сторіччя. Сьогодні науковці читають книгу життя, що містить повний геном людини й обіцяє нам дивовижні досягнення в розумінні природи старіння. Однак продовження життя без здоров'я й сили може стати вічною карою, як пересвідчився бідолашний Тіфон.

До кінця цього сторіччя ми теж значною мірою матимемо цю міфічну владу над життям і смертю. І ця влада не обмежуватиметься зціленням хворих – ми використовуватимемо її, щоб удосконалити людське тіло і навіть створити нові форми життя. Однак, ми досягнемо цього не молитвами й заклинаннями, а завдяки чудесам біотехнологій.

Один із науковців, що розкривають таємниці життя, – Роберт Ланца, людина, що весь час поспішає. Він належить до нового типу біологів – молодих, енергійних і сповнених свіжих ідей, адже попереду ще так багато відкриттів, а часу так мало. Ланца перебуває на гребені хвилі біотехнологічної революції. Як дитина, що оглядає крамницю з солодошами, він із задоволенням досліджує нові території, здійснюючи прориви у різноманітних “гарячих” сферах.

Одне чи два покоління тому темпи були зовсім інші. Можна було побачити біологів, що неспішно вивчають якихось маловідомих черв'яків і жуків, терпляче й докладно студіюють їхню анатомію і довго й нудно вигадують для них латинські назви.

Ланца не такий.

Я познайомився з ним у радіостудії, де мав узяти в нього інтерв'ю, і він одразу справив на мене сильне враження своєю молодістю й безмежною креативністю. У ту мить Ланца, як завжди, розривався між кількома досліддами. Він розповів мені, що опинився в цій динамічній сфері дуже незвичним способом. Він виріс у скромній робітничій родині південніше від Бостона, де загалом мало хто вступає в коледж. Проте в школі Ланца почув приголомшливу новину про розкриття таємниці ДНК і “потрапив на гачок”. Він задумав науковий проект: клонувати у себе в кімнаті курча. Спонтелічені батьки не розуміли, що робить їхній син, але дали йому своє благословення.

Рішуче налаштований здійснити свій проект, Ланца поїхав до Гарвардського університету за порадою. Не знаючи там нікого, він запитав чоловіка, якого прийняв за швейцара, як пройти туди, куди йому було потрібно. Заінтригований “швейцар” привів його до себе в кабінет. Пізніше Ланца дізнався, що насправді “швейцар” був одним зі старших дослідників у лабораторії. Вражений сміливістю цього самовпевненого старшокласника, науковець познайомив його з іншими вченими, у тому числі дослідниками нобелівського масштабу, і це повністю змінило життя юнака. Ланца порівнює себе з героєм Метта Деймона у фільмі *Розумник Вілл Гантінг*, де неохайний підліток, що виріс на вулицях робітничого району, вражає професорів Массачусетського технологічного інституту своїм математичним генієм.

Сьогодні Ланца – керівник дослідницьких робіт у компанії *Advanced Cell Technology*, за його плечима сотні наукових праць і винаходів. У 2003 році його ім'я потрапило в газетні заголовки, коли зоопарк у місті Сан-Дієго попросив його клонувати бантенга (вид диких биків, якому загрожує вимирання) з туші бика, що вмер двадцять п'ять років тому. Ланца з успіхом вилучив із туші клітини, придатні до використання, обробив їх і відіслав на ферму в штаті Юта. Там запліднені клітини імплантували в матку корови. Десять місяців по тому він одержав новину, що його останнє творіння з'явилося на світ. Одночасно Ланца міг працювати над “інженерією тканин” – технологією, на базі якої, можливо, з часом буде створено майстерню з виготовлення людських органів, де ми зможемо замовити собі нові органи, вирощені з наших власних клітин, аби замінити хворі чи зношені органи. І одночасно він міг працювати над клонуванням клітин людського ембріона. Ланца належить до тієї історичної групи науковців, яка вперше в історії клонувала людський ембріон задля створення стовбурових клітин.

### ТРИ ЕТАПИ РОЗВИТКУ МЕДИЦИНИ

Ланца перебуває на хвилі відкриттів, зумовлених розкодуванням інформації, що схована в ДНК. В історії медицини можна визначити принаймні три основні етапи. На першому етапі, що тривав десятки тисяч років, у медицині панували забобони, чаклунство й чутки. Більшість дітей помирали при народженні, а середня тривалість життя коливалась між вісімнадцятьма і двадцятьма роками. У цей період відкрили деякі лікувальні трави й хімічні речовини, зокрема аспірин\*, але якогось системного способу пошуку нових методів лікування здебільшого не було. Прикро, але всі лікувальні засоби, що насправді допомагали, були таємницею за сімома печатями. “Лікар” заробляв гроші, догоджаючи заможним пацієнтам, і був особисто зацікавлений тримати свої зілля й заклинання в таємниці.

У цей період один із засновників клініки Мейо вів приватний щоденник, коли обходив пацієнтів. У ньому він чесно написав, що в його

\* Аспірин вперше синтезував Ф. Жерар у 1853 році, а у 1899 аспірин вперше надійшов у продаж як медичний препарат. Тому відкриття аспірину не можна віднести до “першого” за класифікацією автора періоду розвитку медицини. – *Прим. наук. ред.*

чорній валізці є лише два дієві засоби: ножівка й морфій. Ножівкою він відрізає ушкоджені кінцівки, а морфій слугував знеболювальним при ампутації. Ці два засоби діяли безвідмовно. Все решта в чорній валізці було суцільним шарлатанством, з сумом визнавав він.

Другий етап розвитку медицини почався в дев'ятнадцятому сторіччі з появою мікробної теорії хвороб і поліпшенням санітарних умов. Середня тривалість життя в Сполучених Штатах 1900 року зросла до сорока дев'яти років. Десятки тисяч солдатів гинули в Європі на полях бою Першої світової війни, і виникла гостра потреба в лікарях, у справжніх дослідах з відтворювальними результатами, які потім публікували в медичних журналах. Європейські монархи, нажахані тим, що гинуть їхні найкращі й найрозумніші піддані, вимагали реальних результатів, а не шарлатанських фокусів. Лікарі, замість того, щоб догоджати заможним покровителям, тепер змагались за визнання й славу, публікуючи свої праці в рецензованих журналах. Це підготувало ґрунт для винайдення антибіотиків і вакцин\*, що збільшили середню тривалість життя до сімдесяти років і більше.

Третій етап розвитку медицини – це молекулярна медицина. Зараз ми є свідками злиття фізики й медицини, зведення медицини до атомів, молекул і генів. Це історичне перетворення почалося в 1940-х роках, коли австрійський фізик Ервін Шрєдінґер, один із засновників квантової теорії, написав важливу книжку з назвою *Що таке життя?* Він відкинув ідею, що буцімто є якийсь таємничий дух чи життєва сила, що втілена в усіх живих істотах. Натомість він припустив, що все життя ґрунтується на якомусь коді, а цей код захований у молекулі. Якщо знайти цю молекулу, припустив він, то можна розкрити таємницю життя. Фізик Френсіс Крік, натхнений книжкою Шрєдінґера, об'єднав зусилля з генетиком Джеймсом Ватсоном, аби довести, що цією легендарною молекулою є ДНК. У 1953 році Ватсон і Крік здійснили одне з найважливіших відкриттів за всі часи – відкрили вторинну структуру ДНК (подвійну спіраль). Сумарна довжина усіх молекул ДНК, які містяться в одній людській клітині, становить близько шести футів. ДНК людини – це послідовність із трьох мільярдів пар нуклеотидів, що містять азотисті основи, які позначають літерами А, Т, С, G (аденін, тимін, цитозин, гуанін) і які несуть у собі цей код. Визначивши точну послідовність цих азотистих основ у молекулі ДНК, можна прочитати книгу життя.

\* Першу вакцинацію проти натуральної віспи провів англійський лікар Е. Дженнер у 1796 році, натомість перший антибіотик – пеніцилін, був відкритий А. Флемінгом у 1928 році. – *Прим. наук. ред.*

Стрімкий розвиток молекулярної генетики зрештою привів до створення проекту *Геном людини* – надзвичайно важливої віхи в історії медицини. Ця потужна інтенсивна програма, що мала на меті секвенування всіх генів людського тіла, коштувала близько 3 мільярдів доларів, і в ній брали участь сотні науковців по всьому світу. Успішне завершення проекту 2003 року ознаменувало початок нової ери в науці. З часом кожний із нас матиме особисту карту геному на компакт-диску. У ній будуть записані всі ваші приблизно 25 000 генів; це буде ваша своєрідна “інструкція користувача”.

Нобелівський лауреат Девід Балтімор підсумував це все однією фразою: “Сьогодні біологія – це інформаційна наука”.<sup>1</sup>

## **БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)**

### **ГЕНОМНА МЕДИЦИНА**

Рушійною силою цього незвичного вибухоподібного розвитку медицини частково є квантова теорія й комп’ютерна революція. Квантова теорія дала нам дивовижно точні моделі розташування атомів у кожному білку і в молекулі ДНК. Ми тепер знаємо, як створити з нуля молекули життя – атом за атомом. А секвенування генів, яке колись було довгим, трудомістким і дорогим процесом, тепер автоматизоване і його виконують роботи. Первинно вартість секвенування всіх генів у тілі однієї людини становила кілька мільйонів доларів. Ця процедура була така дорога й займала стільки часу, що лише жменька людей (серед них науковці, що розробили цю технологію) могли дозволити собі мати карту власного геному. Однак за якихось кілька років ця екзотична технологія може стати доступною для пересічної людини.

(Я виразно пригадую свій виступ на конференції у Франкфурті наприкінці 1990-х років, де йшлося про майбутнє медицини. Я передбачив, що до 2020 року особиста карта геному стане реальною можливістю і що всяк охочий зможе мати компакт-диск або чіп із повним описом своїх генів. Але це роздратувало одного учасника конференції. Він підвівся й сказав, що ця мрія нездійсненна. Генів попросту занадто багато, і створювати особисту геномну карту для

кожного було б надто дорого. Вартість проекту *Геном людини* становила 3 мільярди доларів, і вартість секвенування генів окремої людини не може знизитись так суттєво. Пізніше я продовжив з ним розмову на цю тему й поступово зрозумів, у чому полягає проблема. Він мислив лінійно. А ціни знижувались відповідно до закону Мура, й за якийсь час стало можливо секвенувати ДНК за допомогою роботів, комп'ютерів і автоматичних пристроїв. Той чоловік не розумів, як серйозно закон Мура впливає на біологію. Сьогодні, згадуючи той інцидент, я бачу, що якщо у тому передбаченні й була помилка, то вона полягала в тому, що я переоцінив час, за який стане можливо одержати особисту карту геному.)

Приміром, Стівен Квейк, інженер зі Стенфордського університету, вдосконалив найновіші досягнення в секвенуванні генів ще більше. Йому вдалося знизити вартість секвенування геному до 50 000 доларів, і він передбачає, що за наступні кілька років ця вартість упаде до 1000 доларів. Науковці вже давно припустили, що коли ціна секвенування геному знизиться до 1000 доларів, це може стати поштовхом до масового секвенування, відтак значна частка людей у світі зможе скористатися цією технологією. Через кілька десятків років секвенування всіх ваших генів може коштувати менше, ніж 100 доларів – не дорожче за стандартний аналіз крові.

(Ключ до цього останнього прориву – раціоналізування процедури секвенування. Квейк зіставляє ДНК конкретної людини з ДНК інших людей, що вже секвеновані. Він розбиває геном людини на частинки, що містять 32 біти інформації. Тоді комп'ютерна програма порівнює ці фрагменти з уже секвенованими геномами інших людей. Оскільки ДНК всіх людей майже ідентичні – відмінність становить менше від 0,1 відсотка – це означає, що комп'ютер може швидко знайти серед цих фрагментів із 32 бітів ідентичні.)

Квейк став восьмою людиною в світі, чий геном повністю секвенували. До того ж він був особисто зацікавлений у цьому проекті, оскільки хотів перевірити свій геном на схильність до хвороб серця. Прикро, але його геном засвідчив, що він таки успадкував одну версію гена, що асоціюється з хворобою серця. “Коли дивишся на власний геном, то мусиш мати міцні нерви”, – бідкався він.<sup>2</sup>

Мені відоме це моторошне відчуття. Мій геном теж частково секвенували й записали на компакт-диск для однієї програми на каналах *BBC-TV* і *Discovery*, де я був ведучим. Лікар узяв мені з руки трохи крові і відіслав її до лабораторії в Університеті Вандербільта; через

два тижні я одержав поштою компакт-диск, на якому були записані тисячі моїх генів. Я тримав цей диск у руках із дивним відчуттям, усвідомлюючи, що на ньому містяться часткові “креслення” мого тіла. Теоретично, за допомогою цього диска можна було б створити більш-менш точну копію мене.

Однак це також пробудило в мені цікавість – адже на цьому компакт-диску були записані таємниці мого тіла. Приміром, я міг пересвідчитись, чи є в мене конкретний ген, що збільшує ймовірність хвороби Альцгаймера. Мене це турбувало, оскільки моя мати померла від хвороби Альцгаймера. (На щастя, цього гена в мене не виявилось.)

Крім того, чотири мої гени зіставили з геномами тисяч людей по всьому світу, чиї гени теж проаналізували. Тоді на карті Землі позначили місця проживання тих людей, у яких відповідні чотири гени точно збігаються з моїми. Точки на карті утворили довгий слід, що починався поблизу Тибету й простягався через весь Китай аж до Японії. Дивовижно, але цей слід відображав шлях міграції давніх предків моєї матері, що сягав у минуле на тисячі років. Мої предки не залишили письмових записів про своє пересування в ті давні часи, але карта їхніх маршрутів чітко вкарбувалась у мою кров\* і ДНК. (Можна також простежити і родовід батька. Мітохондріальні гени передаються в незмінному вигляді від матері до доньки, тим часом хромосома *Y* передається від батька до сина. Відтак, проаналізувавши ці гени, можна простежити родовід матері чи батька.)

Припускаю, що в недалекому майбутньому багато хто переживе те саме дивне відчуття, що й я, тримаючи в руках “креслення” власного тіла й читаючи його найглибші таємниці – у тому числі небезпечні хвороби, що криються в геномі, й давні шляхи міграції власних предків.

Однак для науковців це означає появу абсолютно нової галузі науки з назвою “біоінформатика”, що передбачає швидке сканування й аналіз геному тисяч організмів за допомогою комп’ютерів. Наприклад, якщо ввести в комп’ютер геноми кількох тисяч людей, що мають якусь конкретну хворобу, то, ймовірно, вдасться точно визначити пошкоджену ділянку ДНК. Фактично, в біоінформа-

\* Ця фраза автора – відгомін ненаукових уявлень про особливу роль крові у спадковості живих організмів. Вони мають тисячолітню історію, міцно тримаються в свідомості багатьох людей і знайшли вираз в таких поняттях як “чистокровний”, “крвнні родичі”, “кровозмішення” тощо. – *Прим. наук. ред.*



тичних дослідженнях використовують деякі найпотужніші в світі комп'ютери – вони аналізують мільйони генів рослин і тварин, аби виявити конкретні ключові гени.

Це могло б навіть здійснити революцію в детективних телесеріалах на кшталт *CSI: Місце злочину*. Маючи зразки ДНК (які містяться, зокрема, у волосяних фолікулах, слині чи плямах крові), можна було б визначати не лише колір волосся, очей, етнічну належність, зріст і медичну історію людини, а й, мабуть, її риси обличчя. Сьогодні поліцейські художники вміють відтворювати приблизний скульптурний образ обличчя жертви злочину, маючи тільки череп. У майбутньому комп'ютер, імовірно, зможе реконструювати риси обличчя людини лише за якимись зразками її лупи чи крові. (Те, що однойцеві близнята дуже схожі зовні, означає, що риси обличчя людини здебільшого зумовлені генетикою, а не якимись зовнішніми чинниками.)

## ВІЗИТ ДО ЛІКАРЯ

Як ми вже зазначали в попередніх розділах, візит до лікаря в майбутньому кардинально зміниться. Розмовляючи з лікарем на настінному екрані, ви, ймовірно, матимете справу з комп'ютерною програмою. У вашій ванній кімнаті буде більше сенсорів, ніж у сучасній лікарні, і вони беззвучно виявлятимуть ракові клітини задовго до утворення пухлини. Приміром, близько 50 відсотків усіх найтипівіших видів раку пов'язано з мутацією в гені *TP53*, яку легко виявити за допомогою цих сенсорів.

При перших ознаках раку вам у кров введуть наночастинки, що, наче “розумні бомби”, доправлять протиракові засоби просто до ракових клітин. Колись ми сприйматимемо хіміотерапію так само, як сьогодні сприймаємо п'явок, якими лікували в минулому сторіччі. (Докладніше про нанотехнологію, ДНК-чіпи, наночастинки і наноботів ми поговоримо в наступному розділі.)

І якщо “лікар” на вашому настінному екрані не зможе вилікувати якоїсь хвороби чи травми якогось органа, то ви просто виростите собі новий орган. Сьогодні лише в Сполучених Штатах 91 000 людей чекають на донорські органи для пересадки. Вісімнадцятеро помирають щодня, так і не дочекавшись порятунку.

У майбутньому, якщо ваш віртуальний лікар виявить якісь проблеми (наприклад, ушкодження якогось органа), то він зможе замо-



У майбутньому ми матимемо трикодери – як у серіалі *Зоряний шлях*, що діагностуватимуть майже всі хвороби; це стане можливо з появою портативних магнітно-резонансних томографів і ДНК-чипів. *Фото Бруно Вінченца (Bruno Vincent/Getty Images)*

вити вам новий орган, який виростять безпосередньо з ваших клітин. Інженерія тканин – одна з “найгарячіших” сфер сучасної медицини, завдяки якій може з’явитися своєрідна “майстерня” людських органів. Наразі науковці навчилися вирощувати в лабораторії шкіру, кров, кровоносні судини, клапани серця, хрящі, кістки, носи й вуха з власних клітин людини. Перший серйозний орган – сечовий міхур – виростили 2007 року, а першу трахею – 2009. Досі науковцям удавалось вирощувати тільки відносно прості органи, що містять лише кілька типів тканин і майже не структуровані. Можливо, що в межах наступних п’яти років вдасться виростити першу печінку й підшлункову залозу, і це матиме величезне значення для системи охорони здоров’я. Нобелівський лауреат Волтер Гілберт сказав мені, що передбачає той час – лише через якихось кілька десятиріч, – коли можна буде виростити з клітин практично будь-який орган.

Аби виростити новий орган, спочатку з тіла людини беруть кілька клітин. Потім ці клітини вміщують у пластикову матрицю, що зовні нагадує губку у формі конкретного органа. Матрицю виготовляють з полімеру гліколевої кислоти, що розкладається в ході біологічних процесів. Клітини обробляють спеціальними речовинами, що сти-

мулюють їхній розвиток і ріст всередині матриці. Врешті-решт матриця розкладається, залишаючи тільки потрібний орган.

Я мав нагоду побувати в лабораторії Ентоні Атали у Вейк-Форестському університеті в Північній Кароліні й побачити цю дивовижну технологію на власні очі. Йдучи цією лабораторією, я бачив прозорі контейнери з живими людськими органами. Я бачив кровеносні судини й сечові міхури; я бачив серцеві клапани, що постійно відкривались і закривались, тому що крізь них прокачували рідини. Від вигляду цих живих людських органів у контейнерах у мене виникло таке відчуття, наче я перебуваю в лабораторії доктора Франкенштайна, однак були деякі принципові відмінності. Тоді, в дев'ятнадцятому сторіччі, лікарі нічого не знали про механізми відторгнення чужорідних тіл, що дуже ускладнюють пересадку органів. До того ж лікарі не вміли боротися з інфекцією, що була неминучим наслідком будь-якої хірургічної операції. Отож Атала, замість створювати якогось монстра, розробляє цілком нову медичну технологію, яка може колись повністю змінити сутність медицини.

Одне з майбутніх завдань його лабораторії – виростити людську печінку (мабуть, у межах наступних п'яти років). Печінка не надто складна й містить лише кілька типів тканин. Печінка, вирощена в лабораторії, могла б урятувати тисячі життів, передусім тих, хто терміново потребує пересадки печінки. Вона також могла б рятувати алкоголіків, що страждають від цирозу. (Прикро, але ця технологія могла б також знеохочувати людей відмовлятися від поганих звичок, адже вони знатимуть, що взамін пошкодженого органу можуть одержати новий.)

Якщо науковці вже навчилися вирощувати такі органи, як трахея чи сечовий міхур, то що може зашкодити їм вирощувати всі органи тіла? Одна велика проблема – це навчитися вирощувати крихітні капіляри, що постачають кров до клітин. Кожна клітина в тілі мусить мати доступ до системи кровообігу. Крім того, є проблема вирощування складних структур. Нирка, що очищає кров від токсинів, складається з мільйонів крихітних фільтрів, тож матрицю для цих фільтрів створити доволі складно.

Однак найскладніше з усіх органів виростити людський мозок. Відтворення чи вирощування людського мозку – навряд чи перспектива на найближчі кілька десятків років, проте натомість може бути можливо ввести молоді клітини безпосередньо в мозок, щоб той прийняв їх у свою нейронну мережу. Втім, така ін'єкція молодих клітин

мозку буде випадковою, тож пацієнтові доведеться опанувати наново багато базових функцій. Але оскільки мозок “пластичний” – тобто постійно, з кожним новим завданням, оновлює свої нейронні зв’язки, то можливо, що він і справді інтегрує ці нові нейрони так, що вони функціонуватимуть правильно.

## СТОВБУРОВІ КЛІТИНИ

Наступний крок – застосування стовбурових клітин. Досі людські органи вирощували не зі стовбурових клітин, а зі звичайних клітин, які спеціально обробляли, щоб вони могли розмножуватись усередині матриці. У майбутньому, очевидно, стане можливо використовувати безпосередньо стовбурові клітини.

Стовбурові клітини – це “матір усіх клітин”, вони здатні перетворюватись на будь-який тип клітин тіла. У кожній клітині нашого тіла міститься повний генетичний код, що потрібний, аби створити ціле наше тіло. Однак, дозріваючи, наші клітини спеціалізуються, й багато генів у них стають неактивними. Приміром, клітина шкіри може мати необхідні гени, щоб перетворитися на кров, проте ці гени “вимикаються”, коли ембріональна клітина стає дорослою клітиною шкіри.

Тим часом ембріональні стовбурові клітини зберігають цю здатність перетворюватись на клітини будь-якого типу все своє життя. Хоч ембріональні стовбурові клітини мають вищу цінність для науковців, використання цих клітин водночас більш суперечливе, оскільки, щоб добути ці клітини, доводиться жертвувати ембріоном, а це породжує етичні питання. (Втім, Ланца і його колеги знайшли нові способи, як добути дорослі стовбурові клітини, – вони беруть стовбурові клітини, що вже перетворилися на якийсь конкретний тип клітин, а тоді перетворюють їх назад на ембріональні стовбурові клітини.)

За допомогою стовбурових клітин потенційно можна вилікувати багато хвороб, зокрема діабет, хвороби серця, хворобу Альцгеймера, хворобу Паркінсона, навіть рак. Дійсно, важко назвати хворобу, в лікуванні якої стовбурові клітини не могли б мати істотного впливу. Одна важлива сфера досліджень – це травми хребта й спинного мозку, що колись уважались абсолютно невиліковними. Коли 1995 року актор Крістофер Рів серйозно травмував хребет і залишився паралізований, методів лікування таких травм не існувало.

Проте в дослідях на тваринах науковці вже сьогодні домоглися значних результатів у відновленні спинного мозку за допомогою стовбурових клітин.

Наприклад, Стівен Дейвіс з Університету штату Колорадо досягнув неабиякого успіху в лікуванні травм спинного мозку в щурів. Він розповідає: “Я провів деякі дослідження, де ми пересаджували дорослі нейрони безпосередньо в дорослу нервову систему. Цілковито у дусі Франкенштайна. На наш великий подив, дорослі нейрони простягнули нові нервові волокна з одного боку мозку в інший лише за тиждень”. Раніше в лікуванні спинномозкових травм було прийнято вважати, що будь-яка спроба відновити нерви спричинить гострий біль і страждання. Дейвіс виявив, що ключовий тип нервових клітин – так звані астроцити – існують у двох варіантах, і їх застосування призводить до різних результатів.

Дейвіс каже: “Якщо використовувати при лікуванні травм спинного мозку правильні астроцити, то ми одержуємо бажаний результат і без болю; водночас із тими іншими типами, схоже, все відбувається навпаки – біль і жодного результату”. Щобільше, він вважає, що технології з застосуванням стовбурових клітин, які він зараз розробляє, будуть також ефективні в лікуванні інсульту та хвороб Альцгеймера і Паркінсона.

Оскільки з ембріональних стовбурових клітин можна створити практично будь-яку клітину тіла, то це дає безмежні можливості. Втім, Доріс Тейлор, директор центру серцево-судинних хвороб в Університеті штату Міннесота, застерігає, що багато роботи ще попереду. “Ембріональні стовбурові клітини являють собою і добро, і зло, і потворність. Якщо вони добрі, то їх можна вирощувати в лабораторії у великих кількостях і використовувати для створення тканин, органів і частин тіла. Якщо вони погані, то вони не вміють вчасно припинити рости й утворюють пухлини. Що ж стосується потворності – тут ми ще багато чого не розуміємо й не можемо контролювати результату, отже, ми не готові використовувати такі клітини без додаткових лабораторних досліджень”, – зазначає вона.<sup>3</sup>

Це одна з основних проблем, що стоять перед дослідниками стовбурових клітин: без зовнішніх хімічних сигналів ці клітини іноді можуть розмножуватись нестримно, доки не перетворяться на ракові. Науковці вже розуміють, що тонкі хімічні сигнали, які курсують між клітинами й повідомляють їх, коли треба рости, а коли слід припинити ріст, так само важливі, як і самі клітини.

Тим часом повільний, однак реальний поступ таки відбувається – особливо в дослідях над тваринами. Ім'я Тейлор потрапило до газетних заголовків 2008 року, коли її команда – вперше в історії – виростила мишаче серце, що б'ється, майже з нуля. Вони почали з того, що взяли мишаче серце й розчинили всі клітини всередині нього, залишивши тільки каркас – білкову матрицю у формі серця. Тоді в цю матрицю вмістили суміш серцевих стовбурових клітин і спостерігали, як стовбурові клітини почали розмножуватись усередині білкового каркаса. Перед цим науковці вже навчилися вирощувати окремі серцеві клітини в чашці Петрі. А це стало першим випадком, коли в лабораторії виростили ціле серце, що б'ється.

Вирощування серця стало для Тейлор водночас і важливою особистою подією. Вона каже: “Це розкішно. Можна побачити ціле судинне дерево, від артерій до малесеньких вен, що несуть кров до кожної окремої клітини серця”.<sup>4</sup>

В уряді США є один підрозділ, що гостро зацікавлений у швидкому розвитку інженерії тканин. Цей підрозділ – армія США. У минулих війнах бойові втрати армії були величезні: склад цілих полків і батальйонів зменшився на порядок, багато хто помирав від ран. Сьогодні медичні евакуаційні загони швидкого реагування забирають поранених з Іраку й Афганістану літаками в Європу чи в Сполучені Штати, де їм надають першокласну медичну допомогу. Рівень виживання американських солдатів різко підвищився. І так само різко збільшилась кількість тих, хто залишився без руки чи ноги. Як наслідок, армія США має тепер пріоритетне завдання – знайти спосіб вирощувати кінцівки для своїх солдатів.

Інститут регенеративної медицини Військових сил зробив серйозний прорив – відкрив кардинально новий метод вирощування органів. Науковці давно знають, що саламандри мають чудову здатність до регенерації й можуть відрощувати цілі кінцівки взамін утрачених. Ці кінцівки відростають, тому що стовбурові клітини в саламандр одержують відповідний стимул. Одну теорію, що дала результат, апробує Стивен Бадилак з Університету Піттсбурга, котрому вдалося успішно відростити кінчики пальців. Його команда створила такий собі “чарівний порошок”, що має чудодійну властивість стимулювати відростання тканин. Цей порошок виготовлений не з клітин, а з позаклітинного матриксу, що існує між клітинами. Цей матрикс має важливе значення, оскільки містить сигнали, які кажуть стовбуровим клітинам рости конкретним способом. Якщо “чарівним порошком” посипати обріза-

ний кінець пальця, то він стимулюватиме відростання не лише пучки, а й нігтя, і в результаті утвориться майже досконала копія первинного пальця. Так науковцям удалося відростити до третини дюйма м'яких тканин і нігтя. Наступна їхня мета – спробувати відростити таким способом цілу людську кінцівку.

## КЛОНУВАННЯ

Якщо ми вміємо вирощувати різноманітні органи людського тіла, то чи не можна виростити цілу людину – створити точну генетичну копію, клона? Відповідь: так, у принципі можна, але досі цього ще ніхто не робив, попри численні заяви.

Клони – улюблена тема голлівудських фільмів, однак зазвичай їхні сюжети не дуже в'яжуться з наукою. У фільмі *6-й день* герой Арнольда Шварценеггера б'ється з поганими хлопцями, що опанували мистецтво клонування людей. Ще важливіше те, що вони навчилися копіювати всю пам'ять людини і вставляти її в організм клона. Коли Шварценеггеру вдається знищити одного поганого хлопця, на місці того відразу з'являється новий з тією самою особистістю й пам'яттю. Все ускладнюється, коли герой Шварценеггера довідується, що без його відома створили його власний клон. (Насправді при клонуванні тварини пам'ять не зберігається.)

Ідея клонування потрапила в заголовки світової преси 1997 року, коли Ян Вілмут з Рослінського інституту Единбурзького університету клонував овечку Доллі. Він узяв клітину дорослої вівці, вилучив із неї ядро з ДНК, а тоді вмістив це ядро в яйцеклітину – і таким чином відтворив генетичну копію оригіналу. Якось я запитав Вілмута, чи очікував він, що навколо його історичного відкриття здійметься така медійна буря. Він відповів: ні. Вілмут чітко усвідомлював медичне значення своєї праці, однак недооцінював інтерес громадськості до цієї теми.

Незабаром групи науковців по всьому світу почали повторювати досягнення Вілмута, клонуючи різноманітних тварин: мишей, кіз, котів, свиней, собак, коней і велику рогату худобу. Одного разу я зі знімальною групою *BBC* відвідав Рона Маркесса, що живе поблизу Далласа, штат Техас, і тримає одну з найбільших ферм у країні, де клонують тварин. Я був вражений, побачивши на його ранчо клонуваних тварин першого, другого й навіть третього покоління – клонів

клонів клонів. Маркесс сказав мені, що для позначення різних поколінь клонованих тварин доведеться вигадати нову термінологію.

Одна група тварин привернула мою увагу. У ній було приблизно вісім однакових телят. Вони ходили, бігали, їли й спали рядочком одне за другим. Хоч ці телята не знали, що вони клони одне одного, вони інстинктивно трималися купи й у всьому імітували одне одного.

Маркесс розповів мені, що клонування худоби – потенційно вигідний бізнес. Якщо ви маєте бика з відмінними фізичними характеристиками, то на ньому можна добре заробити, якщо використувати його для запліднення. Однак якщо цей бик помре, то його генетичну лінію буде втрачено – хіба що ви заздалегідь зберете й заморозите його сперму. За допомогою клонування генетичну лінію породистого бика можна зберігати вічно.

Клонування може мати комерційну вигоду в розведенні тварин; утім, наразі не дуже зрозуміло, чи буде сенс застосувати його щодо людей. Хоч ми вже почули кілька сенсаційних заяв про успішне клонування людини, всі вони, ймовірно, були неправдиві. Досі ще нікому не вдалося клонувати навіть примата, не те що людину. Навіть клонування тварин виявилось нелегкою справою, оскільки на кожний ембріон, що розвивається нормально, припадає сотні дефектних.

І навіть якщо клонування людини стане можливим, існують соціальні бар'єри. Передусім, багато релігій виступлять проти клонування людини – так само, як католицька церква 1978 року виступила проти екстракорпорального запліднення, коли Луїза Браун стала першою дитиною в історії, яку зачали в пробірці. Це означає, що ймовірно з'являться закони, які заборонятимуть клонування людини або принаймні жорстко його регламентуватимуть. По-друге, комерційний попит на клонування людей буде невеликий. Навіть якщо клони будуть дозволені законом, то вони становитимуть лише незначну частку людства. Зрештою, ми вже маємо клонів – у вигляді однойцевих двійнят (і трійнят), отже, новизна цього явища поступово знівелюється.

Попервах попит на дітей із пробірки був величезний, з уваги на безліч безплідних пар. Але хто захоче клонувати людину? Можливо, батьки, що оплакуватимуть смерть дитини. Або ж, імовірніше, якийсь багач на смертному ложі, що не матиме спадкоємців – принаймні таких спадкоємців, які для нього щось значать, – і захоче залишити всі свої гроші собі самому, щоб почати все наново.



Отже, в майбутньому, попри можливі закони, що заборонятимуть клонування людей, люди-клони, ймовірно, таки існуватимуть. Однак вони становитимуть дуже незначну частку людства, і соціальні наслідки клонування будуть неістотні.

## ГЕННА ТЕРАПІЯ

Френсіс Коллінз, теперішній директор Національного інституту охорони здоров'я, котрий очолював історичний урядовий проект *Геном людини*, сказав мені якось, що “кожний із нас має з півдюжини добряче підписутих генів”. У минулому нам не залишалось нічого іншого, як страждати від цих часто смертельних генетичних дефектів. У майбутньому, каже Коллінз, ми зможемо виправити багато з них за допомогою генної терапії.

Генетичні хвороби переслідували людство з незапам'ятних часів, а в деякі визначальні моменти могли навіть уплинути на хід історії. Приміром, через кровозмішувальні шлюби між членами королівських родин Європи від генетичних хвороб страждали цілі покоління знаті. Зокрема, англійський король Георг III, найімовірніше, страждав від гострої переміжної порфірії, що спричиняє короткочасні напади безумства. Дехто з істориків припустив, що це погіршило його стосунки з колоніями і спонукало ті оголосити 1776 року незалежність від Англії.

Королева Вікторія була носієм гена гемофілії, що спричиняє неконтрольовані кровотечі. Вона мала дев'ятьох дітей, багато з яких вступили в шлюб із представниками інших королівських родин Європи – як наслідок, “королівська хвороба” поширилась по всьому континенту. В Росії правнук королеви Вікторії Олексій, син Миколи II, страждав від гемофілії, яку буцімто вмів тимчасово полегшувати тасмничий Распутін. Цей “божевільний монах” здобув достатньо влади, аби паралізувати російське дворянство й затримати вкрай потрібні реформи; як припускають деякі історики, все це посприяло більшовицькій революції 1917 року.

Однак у майбутньому за допомогою генної терапії, ймовірно, можна буде лікувати багато з 5000 відомих генетичних хвороб, зокрема кістозний фіброз (що уражає уродженців Північної Європи), хворобу Тея-Сакса (що уражає євреїв східноєвропейського походження) і серповидноклітинну анемію (що уражає афроамерикан-

ців). У близькому майбутньому ми, ймовірно, навчимося лікувати багато генетичних хвороб, що зумовлені мутацією одного гена.

Генна терапія буває двох видів: соматична і фетальна.

Соматична генотерапія передбачає виправлення пошкоджених генів у однієї людини. Терапевтичний ефект зникає зі смертю конкретної людини. Другий, більш суперечливий вид генотерапії – фетальна генотерапія, при якій виправляють гени статевих клітин, так щоб виправлений ген міг передаватися наступним поколінням – майже безкінечно.

Лікування генетичної хвороби йде довгим, однак добре відпрацьованим шляхом. Спочатку треба знайти жертв якоїсь конкретної генетичної хвороби, а тоді ретельно відстежити їхній родовід – на кілька поколінь у минуле. Аналізуючи гени цих людей, фахівці намагаються визначити точне місце гена, що може бути пошкоджений.

Тоді беруть здорову версію цього гена, вміщують її у “вектор” (звичай якийсь нешкідливий вірус) і вводять пацієнту. Вірус швидко вставляє “добрий ген” у клітини пацієнта і (потенційно) виліковує хворобу. До 2001 року в усьому світі випробовували й планували випробувати понад 500 методів генної терапії.<sup>5</sup>

Однак поступ відбувається повільно й результати випробувань неоднозначні. Одна з проблем полягає в тому, що організм часто плутає цей нешкідливий вірус, що містить “добрий ген”, із небезпечним вірусом і починає його атакувати. Це спричиняє побічні ефекти, які можуть знівельювати дію “доброго гена”. Іншою проблемою є те, що не всі віруси правильно вставляють “добрий ген” у відповідні клітини людського організму, відтак ці клітини не можуть виробляти достатньої кількості потрібного білка.

Попри ці труднощі, французькі науковці 2000 року оголосили, що їм удалосявилікувати дітей з важким комбінованим імунodefіцитом, які народилися з недієздатною імунною системою. Дехто з цих дітей змушений, як “Девід, хлопчик у міхурі”, перебувати ціле життя всередині стерильної пластикової ємності. За неспроможності імунної системи захищати організм будь-яка хвороба може виявитись для них фатальною. Генетичне обстеження маленьких пацієнтів засвідчило, що в їхніх імунних клітинах дійсно з’явився новий ген, як і планувалося, в результаті чого імунна система активувалась.

Однак були й невдачі.<sup>6</sup> У 1999 році в Пенсильванському університеті пацієнт помер під час випробування одного методу генної терапії, і це змусило медичну громаду серйозно замислитись над про-

веденням таких експериментів. Це була перша смерть серед 1100 пацієнтів, яких піддали генній терапії такого типу. А до 2007 року з'ясувалося, що в чотирьох із десяти пацієнтів, яких вилікували від однієї конкретної форми важкого комбінованого імунodefіциту, розвинувся серйозний побічний ефект – лейкомія. Тепер дослідження в галузі генної терапії важкого комбінованого імунodefіциту зосереджені на тому, як вилікувати цю хворобу, не активувавши випадково одного з генів, що можуть спричинити рак. Сьогодні сімнадцятеро пацієнтів, що мали інший різновид важкого комбінованого імунodefіциту, здорові й не мають ні імунodefіциту, ні раку. Це одне з нечисленних досягнень у цій сфері.

Власне, рак – це одна з мішеней генної терапії. Майже 50 відсотків усіх найтипівіших видів раку пов'язані з ушкодженням гена *TP53*. Ген *TP53* довгий і складний, і це підвищує ризик його ушкодження під дією екологічних або хімічних чинників. Тому сьогодні науковці проводять багато експериментів з метою ввести пацієнтам здоровий ген *TP53*. Приміром, тютюновий дим часто спричиняє типові мутації у трьох добре відомих ділянках цього гена. Якщо ми навчимося замінити ушкоджений ген *TP53*, то ймовірно, що колись за допомогою генної терапії ми зможемо вилікувати деякі форми раку легень.

Поступ у цій сфері повільний, але стійкий. У 2006 році науковцям у Національному інституті охорони здоров'я вдалося вилікувати метастатичну меланому – одну з форм раку шкіри, – змінивши Т-кілери так, щоб ті спеціально атакували ракові клітини. Це перше дослідження, яке свідчить, що генну терапію можна успішно застосовувати проти деяких видів раку. А 2007 року лікарі в Університетському Коледжі Лондона і в лондонській офтальмологічній лікарні Мурфілдс зуміли вилікувати за допомогою генної терапії одну форму спадкового захворювання сітківки (зумовленого мутаціями в гені *PRE65*).

Тим часом деякі подружні пари не чекають на генну терапію, а беруть свій генетичний спадок у власні руки. При екстракорпоральному заплідненні пара може створити відразу декілька ембріонів. Кожний з них можна перевірити на наявність конкретної генетичної хвороби, а тоді вибрати здоровий і імплантувати його матері. Таким способом можна поступово позбутися генетичних хвороб, не використовуючи дорогих технологій генної терапії. До цього сьогодні вдаються деякі ортодоксальні євреї в Брукліні, серед яких існує високий ризик хвороби Тея-Сакса.

Утім, одна хвороба, найімовірніше, залишатиметься смертельно небезпечною впродовж всього двадцять першого сторіччя: це рак.

## СПІВІСНУВАННЯ З РАКОМ

Ще 1971 року президент Річард Ніксон під супровід фанфар і великого галасу в пресі урочисто оголосив раковій війну. Він думав: якщо виділити на дослідження раку достатньо грошей, то ліки швидко знайдуть. Однак сорок років по тому (і попри 200 млрд. витрачених доларів) рак є другою за значенням причиною смертей у Сполучених Штатах, на його рахунок – 25 відсотків усіх смертей. За період від 1950 до 2005 року смертність від раку знизилась лише на 5 відсотків (з поправкою на вік та інші чинники). Очікується, що тільки цього року рак забере життя 562 000 американців – понад 1000 життів щодня. Смертність від раку знизилась щодо кількох типів цієї хвороби, однак щодо інших типів уперто тримається на попередньому рівні. А методи лікування раку – при яких тіло людини труять, ріжуть і опромінюють – завдають пацієнтам сильних страждань і навіть змушують сумніватися, що гірше: сама хвороба чи її лікування.

В ретроспективі ми розуміємо, в чому полягала помилка. У далекому 1971 році, перед революцією в генній інженерії, причини раку були цілковитою таємницею.

Тепер науковці знають, що рак – це, по суті, хвороба генів. Незалежно від того, що спричиняє рак – вірус, хімічні речовини, опромінення чи простий випадок, – у його основі лежать мутації чотирьох чи більше генів, внаслідок яких нормальна клітина “забуває, як умирати”. Клітина втрачає контроль над своїм відтворенням і розмножується безперервно, зрештою вбиваючи пацієнта. Аби виник рак, мусять відбутися послідовні мутації в чотирьох чи більше генах, і це, ймовірно, пояснює те, чому рак часто вбиває аж через кілька десятиріч після первинного інциденту. Наприклад, у дитинстві людина може сильно обпектися на сонці. Через багато десятків років у неї може на тому самому місці виникнути рак шкіри. Це означає, що за весь цей час у клітині відбулися додаткові мутації, які зрештою перетворили її на ракову.

Є принаймні два основні типи генів, що причетні до раку: це онкогени й гени – супресори пухлин, що діють відповідно як акселератор і гальма автомобіля. Онкоген можна порівняти з педаллю ак-

селератора, що застрягла в нижньому положенні – автомобіль тоді мчить із шаленою швидкістю. Так само онкоген стимулює клітину розмножуватись без обмежень. Ген – супресор пухлин за нормальних умов діє як гальма, тож якщо він пошкоджений, клітина нагадує автомобіль, що не може зупинитись.

Проект *Геном раку* має на меті виявити послідовності генів, що спричиняють більшість видів раку. Оскільки кожний вид раку вимагає повного секвенування геному людини, то проект *Геном раку* в сотні разів амбітніший за первинний проект *Геном людини*.

Деякі результати цього довгоочікуваного проекту, що стосуються раку шкіри й легень, оприлюднили 2009 року. Вони були приголомшливі. Майк Стреттон з Інституту Сенгера сказав: “Те, що ми спостерігаємо сьогодні, повністю змінить наше уявлення про рак. Досі ми ще ніколи не бачили раку в такому відкритому вигляді”.<sup>7</sup>

У клітинах легеневої ракової пухлини виявилась неймовірна кількість – 23 000 – окремих мутацій, а в ракових клітинах меланоми – 33 000 мутацій. Це означає, що у типового курця відбувається одна мутація за кожні п’ятнадцять викурених цигарок. (Рак легень щороку вбиває мільйон людей у всьому світі, переважно через паління.)

Мета проекту – проаналізувати всі типи раку, яких налічується понад 100, на генетичному рівні. У тілі людини є багато типів тканин, кожна з яких може стати раковою; на кожний тип тканини припадає багато типів раку; і кожний тип раку може спричинитися десятками тисяч мутацій. Оскільки в кожному випадку йдеться про десятки тисяч мутацій, то науковцям потрібно буде багато десятків років, аби точно визначити, яка саме мутація спричиняє збій у клітинному механізмі. Науковці, очевидно, розроблять окремі методи лікування для різних видів раку, а не якийсь один метод для всіх видів загалом, оскільки сам рак – це, по суті, сукупність різних хвороб.

На ринку з’являтимуться нові засоби й методи лікування, і всі вони будуть призначені атакувати молекулярні й генетичні корені раку. До найперспективніших належать такі:

- антиангіогенез, або блокування кровопостачання пухлини, в результаті чого та перестає рости;
- наночастинки, що діють як “розумні бомби”, націлені на ракові клітини;
- генна терапія, особливо стосовно гена *TP53*;
- нові препарати, націлені лише на ракові клітини;

- нові вакцини проти вірусів, що можуть спричинити рак (таких як вірус папіломи людини, що спричиняє рак шийки матки).

Прикро, але ми навряд чи знайдемо панацею від раку. Радше ми лікуватимемо рак поступово, крок за кроком. Найімовірніше, смертність від раку істотно знизиться тоді, коли в нашому середовищі всюди будуть ДНК-чіпи, що виявлятимуть у нашому тілі ракові клітини за багато років до утворення пухлини.

Нобелівський лауреат Девід Балтімор висловився про це так: “Рак – це армія клітин, яка змагається з нашими методами лікування так, що, як впевнений, ми будемо змушені вести цю битву постійно”.<sup>8</sup>

## **СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)**

### **ГЕННА ТЕРАПІЯ**

Попри невдачі генної терапії, дослідники впевнені, що в наступні десятиріччя ця галузь стабільно розвиватиметься. Багато хто вважає, що до середини сторіччя генна терапія стане стандартним методом лікування цілого спектра генетичних хвороб. Більшість успіхів, що їх науковці досягли в дослідках на тваринах, із часом поширяться на людей.

Досі генна терапія була спрямована на лікування хвороб, що спричинені мутацією лише одного гена. Ці хвороби ми навчимося лікувати насамперед. Однак чимало хвороб зумовлені мутаціями в багатьох генах і, крім того, дією зовнішніх чинників. Їх лікувати набагато складніше, але до них належать такі серйозні хвороби, як діабет, шизофренія, хвороба Альцгеймера, хвороба Паркінсона і хвороби серця. Всі вони мають генетичну основу, але пов’язані з мутацією не одного, а кількох генів. Приміром, бувають однойцеві близнята, з яких один хворий на шизофренію, а інший – ні.

Різні науковці вже не раз заявляли, що їм удалося визначити деякі гени, що причетні до шизофренії, простеживши генетичну історію конкретних родин. Утім, ці результати часто не підтверджуються іншими незалежними дослідженнями. Отже, ці результати хибні, або ж до шизофренії причетні багато генів. До того ж, схоже, тут мають вплив і деякі зовнішні чинники.

До середини сторіччя генна терапія має стати стандартним методом лікування, принаймні для хвороб, що спричинені мутацією одного гена. Однак можливо, що пацієнтам уже буде недостатньо лише полагодити пошкоджені гени. Можливо, вони захочуть ще й їх удосконалити.

## ДІТИ “НА ЗАМОВЛЕННЯ”

До середини сторіччя науковці вже не просто виправлятимуть пошкоджені гени, а реально їх удосконалюватимуть.

Людина з давніх-давен прагнула мати надлюдські здібності; це бажання відображене в грецькій і римській міфології і в наших снах. Великий герой Геракл, один із найпопулярніших грецьких і римських напівбогів, здобув свою величезну силу не за допомогою вправ і дієти, а завдяки божественним генам. Його мати, смертна красуня Алкмена, якось упала в око Зевсу, який, аби зайнятися з нею коханням, прикинувся її чоловіком. Коли Алкмена завагітніла, Зевс оголосив, що дитина колись стане великим воїном. Однак Зевсова дружина Гера приревнувала його й задумала потайки умертвити дитину, затримавши її народження. Алкмена мало не померла в муках під час довгих пологів, але в останню хвилину зловісні плани Гери було викрито, й Алкмена народила незвичайно велике немовля. Напівлюдина й напівбог, Геракл успадкував божественну силу батька і здійснив багато героїчних, легендарних подвигів.

У майбутньому ми, можливо, й не навчимося створювати божественних генів, але напевно вмітимемо створювати гени, що дадуть нам надлюдські можливості. І, подібно до важкого народження Геракла, розроблення цієї технології буде пов'язане з чималими труднощами.

До середини сторіччя “діти на замовлення” можуть стати реальністю. Як сказав гарвардський біолог Е. О. Вілсон: “*Homo sapiens*, перший по-справжньому вільний біологічний вид, от-от “спише в резерв” природний добір – силу, що створила нас... Незабаром нам доведеться зазирнути глибоко в себе й вирішити, якими ми хочемо стати”.<sup>9</sup>

Уже сьогодні науковці виокремлюють гени, що відповідають за базові функції організму. Приміром, 1999 року було визначено “ген розумної миші”, що поліпшує пам'ять і кмітливість мишей. Миші, що мають цей ген, краще орієнтуються в лабіринтах і краще запам'ятовують.

Науковці в Принстонському університеті, зокрема Джозеф Цянь, створили лінію генетично змінених мишей, що мають додатковий ген із назвою *NR2B*, який стимулює виробництво нейротрансмітера *N*-метил-*D*-аспартата (*NMDA*) в передній частині мозку миші. Творці цих розумних мишей охрестили їх мишами Дугі (на честь героя гумористичного телесеріалу доктора-підлітка Дугі Гаузера).

Ці розумні миші перевершують звичайних мишей у різноманітних тестах. В одному експерименті мишу пускають у контейнер з непрозорою водою, і та має знайти платформу, яка схована відразу під поверхнею води, де можна відпочити. Звичайні миші забувають, де саме знаходиться ця платформа, і безладно плавають по контейнеру, тимчасом як розумні миші з першої ж спроби плывуть прямісінько до платформи. Якщо мишам показати два предмети – один старий і один новий – то звичайні миші не звертають уваги на новий предмет. Однак розумні миші відразу зауважують присутність нового предмета.

Найважливіше те, що науковці розуміють, як працюють ці “гени розумної миші”: вони регулюють синапси мозку. Якщо уявити мозок як розгалужену мережу автострад, то синапси в ній виконують роль пунктів стягнення плати за проїзд. Якщо ця плата надто висока, то автомобілі не можуть проїхати повз контрольний пост: інформація в мозку зупиняється. Якщо ж плата невисока, то автомобілі проїжджають, тобто інформація вільно проходить по мозку. Нейротрансмітери на кшталт *NMDA* знижують “плату за рух” і полегшують проходження інформації через синапси. Розумні миші мають по два примірники гена *NR2B*, що сприяють виробництву нейротрансмітера *NMDA*.

Ці розумні миші підтверджують правило Гебба: мозок учиться, коли підсилюються конкретні нейронні маршрути. Зокрема, ці маршрути можна підсилювати, регулюючи синапси, що сполучають два нервові волокна, полегшуючи, таким чином, проходження сигналів через синапси.

Цей результат може допомогти пояснити деякі особливості процесу навчання. Відомо, що з віком тварини втрачають здатність учиться. Це явище спостерігається по всьому тваринному світу. Можливо, це пояснюється тим, що ген *NR2B* з віком стає менш активний.

Крім того, згідно з уже згаданим правилом Гебба, ймовірно, сподяди закріплюються в мозку, коли між нейронами утворюються сильні зв'язки. Це може справді бути так, оскільки активація рецептора *NMDA* власне створює сильний зв'язок між нейронами.



## ГЕН МОГУТНЬОЇ МИШІ

Окрім “гена розумної миші”, науковці виявили також “ген могутньої миші”, що збільшує м’язову масу і робить мишу схожою на культуриста. Вперше цей ген виявили в мишей з незвично розвинутими м’язами. Тепер науковці розуміють, що ключову роль тут виконує ген міостатину, який стримує ріст м’язів. У 1997 році науковці з’ясували, що якщо заблокувати в мишей ген міостатину, то їхні м’язи розвинуться понад норму.

Ще одне відкриття зробили невдовзі після цього в Німеччині, коли науковці обстежили новонародженого хлопчика з незвично розвинутими м’язами стегон і плечей. Ультразвукове обстеження засвідчило, що м’язи в цього хлопчика вдвічі більші від норми. Секвенувавши гени цього немовляти і його матері (професійної спортсменки-спринтера), науковці виявили аналогічні генетичні структури. Фактично, в крові цього малюка взагалі не виявилось міостатину.

Науковці в Медичній школі Університету Джона Гопкінса вирішили сконтактуватися з пацієнтами, що страждають від дегенеративних м’язових розладів, – результати цього дослідження могли б їм допомогти; однак, на велике розчарування науковців, половина телефонних дзвінків до їхнього офісу надходила від культуристів, які хотіли за допомогою цього гена наростити собі м’язи, без огляду на можливі наслідки. Мабуть, ці культуристи згадали феноменальний успіх Арнольда Шварценеггера, який зізнався, що на початку своєї карколомної кар’єри вживав стероїди. Ген міостатину і способи його пригнічення викликали такий величезний інтерес, що навіть Олімпійський комітет був змушений створити спеціальну комісію, яка б зайнялася цим питанням. На відміну від стероїдів, які відносно легко виявити за допомогою хімічних тестів, цей новий метод виявити значно складніше, оскільки він пов’язаний з генами й протеїнами, синтез яких вони визначають.

Дослідження однойцевих близнят, яких розділили відразу після народження, свідчать, що багато різноманітних рис поведінки зумовлені генетично. Фактично, згідно з цими дослідженнями, поведінка близнят приблизно наполовину зумовлена генетикою і наполовину – зовнішніми чинниками. До рис поведінки, що зумовлені генетично, належить пам’ять, логічне мислення, просторове мислення, швидкість обробки інформації, екстровертність і схильність до пошуку гострих відчуттів.

Навіть ті види поведінки, що колись уважалися складними, тепер розкривають своє генетичне коріння. Приміром, полівки моногамні, а лабораторні миші нерозбірливі в статевих зв'язках. Ларрі Янг з Університету Еморі шокував світ біотехнологій, продемонструвавши, що за допомогою одного гена полівки можна створити мишу, що виявлятиме моногамні риси. Кожна тварина має іншу версію конкретного рецептора для одного з пептидів мозку, що відповідає за соціальну поведінку і спарювання. Янг пересадив ген полівки, який відповідає за цей рецептор, звичайним мишам і виявив, що ці миші почали поводитись радше як моногамні полівки.

“Хоча в еволюції складних форм соціальної поведінки, таких, як моногамія, найімовірніше, задіяно багато генів, – каже Янг, – зміни у функціонуванні навіть одного-єдиного гена можуть вплинути на окремі компоненти такої поведінки, приміром, на пошук партнера”.<sup>10</sup>

Депресія і щастя теж можуть мати генетичне коріння. Віддавна відомо, що є люди, які залишаються щасливими навіть попри те, що їм довелося пережити трагічні події. Вони в усьому бачать світлий бік, навіть у невдачах, від яких хтось інший міг би впасти у відчай. Переважно такі люди водночас мають краще здоров'я. Гарвардський психолог Деніел Гілберт розповів мені, що є одна теорія, яка могла б це пояснити. Можливо, ми народжуємося із якимсь “заданим рівнем щастя”. Протягом життя ми можемо дещо відхилитися від цього заданого рівня в той чи інший бік, але загалом цей рівень встановлюється при народженні. Можливо, в майбутньому науковці навчатимуться змінювати цей рівень щастя за допомогою ліків або генної терапії – особливо в тих людей, які страждають хронічною депресією.

## ПОБІЧНІ ЕФЕКТИ БІОТЕХНОЛОГІЧНОЇ РЕВОЛЮЦІЇ

До середини сторіччя науковці визначать і навчатимуться змінювати чимало окремих генів, що відповідають за різноманітні риси людини. Втім, це не означає, що людство відразу матиме з цього користь. Попереду ще залишатиметься тривала й складна робота щодо усунення побічних ефектів і небажаних наслідків, яка може розтягнутися на багато десятків років.

Приміром, Ахіллес, що очолював переможних греків в епічній битві з троянцями, був невразливий у бою. Однак його сила мала

один фатальний недолік. Коли герой був немовлям, мати занурила його в чарівну річку Стікс, аби він став невразливим. При цьому вона мусила тримати Ахіллеса за п'ятку, яка, на прикрість, залишилась єдиним уразливим місцем на його тілі. Пізніше, під час Троянської війни, Ахіллес загинув від стріли, що влучила йому в п'ятку.

Сьогодні науковці замислюються, чи ті нові лінії створинь, що їх вони виводять у лабораторіях, бува, не мають якоїсь прихованої ахіллесової п'яти. Приміром, сьогодні є близько тридцяти трьох різних ліній "розумних мишей" з поліпшеною пам'яттю і кмітливистю. Однак виявилось, що краща пам'ять має один несподіваний побічний ефект: "розумні миші" іноді бувають паралізовані страхом. Якщо їх піддати надзвичайно м'якій дії електричного струму, то вони тремтять з жаху. "Це так, начебто вони пам'ятають надто багато", – каже Алчіно Сілва з Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі, який створив власну лінію "розумних мишей".<sup>11</sup> Тепер науковці розуміють, що для того, аби нормально сприймати цей світ і організовувати знання, забувати так само важливо, як і пам'ятати. Мабуть, щоб організовувати наші знання, ми мусимо просто відкидати багато інформації.

Це нагадує одну історію з 1920-х років про чоловіка з фотографічною пам'яттю, яку задокументував російський невролог А. Р. Лурія. Прочитавши *Божественну комедію* Данте лише один раз, цей чоловік запам'ятав кожне слово. Така феноменальна пам'ять допомагала цьому чоловікові в роботі – він був газетним репортером; однак він був нездатний розуміти образні вислови. Лурія зауважив: "Перешкоди для розуміння в нього були величезні: кожний вислів породжував якийсь образ, який, своєю чергою, вступав у конфлікт з іншим образом, що виник раніше".<sup>12</sup>

Науковці вважають, що між забуванням і запам'ятовуванням має бути належний баланс.<sup>13</sup> Якщо забувати надто багато, то можна забути більш попередніх помилок, але водночас можна забути і якісь важливі факти й уміння. Якщо ж пам'ятати надто багато, то можна запам'ятати якісь важливі подробиці, але водночас пам'ять про минулі страждання й невдачі часом може паралізувати. Тільки розумний компроміс між забуванням і запам'ятовуванням може забезпечити оптимальне сприйняття життя.

Культуристи вже сьогодні вдаються до різноманітних пігулок і методів терапії, які обіцяють їм славу. Гормон еритропоедин збіль-

шує кількість червоних кров'яних тілець, що містять кисень, а це підвищує витривалість організму. Оскільки еритропоетин згущує кров, то він також підвищує ризик інсульту і серцевого нападу. Інсуліноподібні чинники росту корисні, оскільки допомагають протейнам нарощувати м'язи, однак їх пов'язують із ростом пухлин.

Навіть якщо з'являться закони, що заборонятимуть генетичні поліпшення, зупинити їх буде складно. Приміром, батьки запрограмовані еволюцією на те, щоб дати своїм дітям усі можливі переваги. З одного боку, це може означати дати їм уроки скрипки, балету й заняття спортом. Однак, з іншого боку, це може означати бажання вдосконалити дітей генетично – дати їм кращу пам'ять, увагу, атлетичні здібності і, можливо, навіть зовнішність. Якщо якісь батьки дізнаються, що їхня дитина в чомусь конкурує з сусідською, а та, за чутками, була генетично поліпшена, то в таких батьків виникне величезна спокуса дати своїй дитині такі самі переваги.

Грегорі Бенфорд якось сказав: “Усі ми знаємо, що привабливим людям ведеться добре. Які батьки встоять перед аргументом, що вони мусять забезпечити дитині потужну підтримку в прекрасному новому світі, де панує жорстка конкуренція?”<sup>14</sup>

До середини сторіччя генетичні поліпшення можуть стати звичною справою. Щобільше, вони навіть можуть стати неминучими, якщо ми маємо намір досліджувати Сонячну систему і жити на негостинних планетах.

Дехто каже, що нам варто моделювати гени, щоб стати здоровішими і щасливішими. Інші вважають, що слід обмежитися косметичними поліпшеннями. Головне питання полягає в тому, наскільки далеко все це зайде. В будь-якому разі контролювати поширення “генів на замовлення”, що поліпшують зовнішність і здібності, буде чимдалі складніше. Ми не хочемо, щоб людство розділилося на окремі генетичні фракції – поліпшених і не поліпшених, – але суспільству доведеться вирішити демократичним шляхом, як далеко варто заходити з цією технологією.

Особисто я вважаю, що будуть ухвалені закони, які регулюватимуть застосування цієї потужної технології; можливо, вони дозволятимуть генну терапію для лікування хвороб і відновлення дієздатності пацієнта, однак обмежуватимуть її застосування для суто косметичних потреб. Це означає, що з часом може з'явитися чорний ринок, де можна буде одержати відповідні послуги, оминувши за-

кон, тож, можливо, колись нам доведеться жити в суспільстві, де невеличка частка людей буде генетично поліпшена.

Здебільшого, це не повинно мати катастрофічних наслідків. Уже сьогодні можна поліпшувати зовнішність за допомогою пластичної хірургії, отже, можливо, що генна інженерія для цього й не знадобиться. Однак небезпека може виникнути, якщо хтось захоче змінити за допомогою генної інженерії власний характер. Імовірно, поведінкою керують багато генів, які взаємодіють між собою складними способами, тож спроби моделювання поведінкових генів можуть спричинити небажані побічні ефекти. На їх вивчення може піти багато десятків років.

Однак що можна сказати про найголовніше генетичне вдосконалення – продовження тривалості людського життя?

## **ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)**

### **ЧИ МОЖЛИВО ЗУПИНИТИ СТАРІННЯ?**

Історія знає королів і полководців, що мали владу над цілими імперіями, але одна річ завжди була їм непідвладна: старіння. Відтак, пошук безсмертя – одне з найдавніших прагнень людства.

У Біблії Бог виганяє Адама і Єву з Едему за те, що ті не послухалися його наказу й скуштували плід пізнання. Бог боявся, що Адам і Єва можуть скористатися цим знанням, аби розкрити таємницю безсмертя й самим стати богами. У Книзі Буття (3: 22) сказано: “Ось став чоловік, немов один із Нас, щоб знати добро і зло. А тепер коли б не простяг він своєї руки, і не взяв з дерева життя, і щоб він не з’їв, – і не жив повік-віку”.

Окрім Біблії, один із найдавніших і найвидатніших текстів у людській цивілізації, який походить приблизно з 2700 року до нашої ери, – це *Епос про Гільгамеша*, великого воїна Месопотамії. Втративши давнього і вірного друга, Гільгамеш постановив рушити в мандри, щоб знайти розгадку таємниці безсмертя. Він чув, що одному мудрому чоловікові і його дружині боги дарували безсмертя і що тільки ці двоє в їхньому краї пережили Великий потоп. Зазнавши

чимало пригод, Гільгамеш таки знайшов квітку безсмертя, але не встиг нею скористатися – її викрала змія.

Оскільки *Епос про Гільгамеша* – один із найдавніших літературних творів, то історики вважають, що пошук безсмертя, описаний у ньому, послужив джерелом натхнення для Гомера (і той написав *Одіссею*), а також для біблійного міфу про Великий потоп.

Чимало давніх царів – зокрема імператор Цінь, що близько 200 року до н. е. об'єднав Китай, – посилали величезні флотилії на пошуки Фонтану молодості, однак знайти його нікому не вдалося. (За легендою, імператор Цінь наказав своїй флотилії не повертатися, доки моряки не знайдуть Фонтану молодості. Команда не змогла знайти цього Фонтану, однак боялася вертатися ні з чим, і тому заснувала Японію.)

Науковці довгий час вважали, що тривалість життя фіксована й незмінна, і науці не під силу щось із цим зробити. Проте за останні кілька років це переконання розсипалось під натиском приголомшливих експериментальних даних, що докорінно змінили ситуацію в цій науковій сфері. Геронтологія, що колись була тихою заводдю в біологічній науці, тепер стала одним із найдинамічніших напрямів. На дослідження в цій сфері йдуть сотні мільйонів доларів, і вже навіть розглядаються можливості їхнього комерційного застосування.

Сьогодні науковці розкривають таємниці процесу старіння, і генетика, очевидно, виконує тут важливу роль. У тваринному світі ми бачимо найрізноманітнішу тривалість життя. Приміром, наша ДНК відрізняється від ДНК нашого найближчого генетичного родича – шимпанзе – лише на 1,5 відсотка, однак ми живемо в півтора рази довше. Можливо, проаналізувавши ту жменьку генів, що відділяє нас від шимпанзе, ми зможемо з'ясувати, чому живемо настільки довше від наших генетичних родичів.

Це, своєю чергою, дало нам “єдину теорію старіння”, що з'єднує окремі нитки дослідження в єдине зв'язне полотно. Тепер науковці знають, що таке старіння. Це накопичення помилок на генетичному і клітинному рівні. Ці помилки можуть накопичуватись різними способами. Приміром, обмін речовин породжує вільні радикали й процеси окислення, що пошкоджують делікатну молекулярну механіку наших клітин і спричиняють старіння; помилки можуть накопичуватись у вигляді молекулярних уламків, що скупчуються всередині і ззовні клітин.

Накопичення цих генетичних помилок – це побічний продукт другого закону термодинаміки: загальна ентропія (тобто хаос) завжди збільшується. Саме тому іржавіння, гниття, розкладання тощо –

це універсальні властивості життя. Другого закону термодинаміки уникнути неможливо. Все у світі, від квітів на полях до наших тіл, і навіть сам Усесвіт – усе приречене постаріти і вмерти.

Однак у цьому законі є одна маленька, проте важлива лазівка, оскільки він стверджує, що завжди збільшується загальна ентропія системи. Це означає, що насправді можна зменшити ентропію в одному місці й зупинити старіння, за умови що десь в іншому місці ентропія збільшиться. Отже, можна помолодшати коштом створення хаосу деінде. (Ця ідея лежить в основі відомого роману Оскара Вайлда *Портрет Доріана Грея*. Доріан Грей дивом залишався вічно молодим. Його таємниця полягала в тому, що замість нього жахливо старів його портрет. Тож загальна сума старіння все ж збільшувалась.) У принципі збільшення ентропії можна також пересвідчитись, зазирнувши за холодильник. Усередині холодильника ентропія зменшується, оскільки температура знижується. Однак, аби зменшити ентропію, нам потрібний мотор, який генерує тепло ззаду холодильника, збільшуючи таким чином ентропію за його межами. Тому холодильники завжди ззаду теплі.

Нобелівський лауреат Річард Фейнман сказав: “У біології наразі не виявлено нічого, що б свідчило про неминучість смерті. Із цього я роблю висновок, що смерть зовсім не є неминучою і рано чи пізно біологи з’ясують, що саме спричиняє цю неприємність, і що цю жахливу універсальну хворобу, тобто тимчасовість людського тіла, колись вилікують”.<sup>15</sup>

Дію другого закону термодинаміки можна побачити на прикладі жіночого статевого гормону естрогену, що підтримує в жінках молодість і енергію до настання менопаузи; потім процес старіння пришвидшується і рівень смертності підвищується. Естроген діє на жіночий організм приблизно так само, як високооктановий бензин діє на спортивний автомобіль. Автомобіль функціонує чудово, однак коштом більшого спрацювання двигуна. У жінок це клітинне спрацювання може виявитися у вигляді раку грудей. Відомо, що ін’єкції естрогену пришвидшують розвиток раку грудей. Тож можливо, що за молодість і енергію до настання менопаузи жінки розплачуються зростанням загальної ентропії – іноді, зокрема, раком грудей. (З’явилось чимало теорій, які намагаються пояснити, чому останнім часом випадки захворювання на рак грудей почастишали, однак усі вони доволі суперечливі. Згідно з однією теорією, це частково пов’язане з загальною кількістю менструальних циклів у

жінки. У давні часи жінки після досягнення статевої зрілості й аж до настання менопаузи були здебільшого весь час вагітні, а незадовго після менопаузи вмирили. Це означає, що менструальних циклів у них було небагато, а рівень естрогену низький; можливо, тому й рівень захворювання на рак грудей у ті часи був відносно низький. Сьогодні дівчата дозрівають раніше, мають багато менструальних циклів, народжують у середньому 1,5 дитини, живуть іще довго після настання менопаузи, а відтак значно більше піддаються дії естрогену, що й зумовлює почастищення випадків захворювання на рак грудей.

Останнім часом з'явилась ціла низка цікавих фактів стосовно генів і старіння. По-перше, дослідники показали, що можна вивести тварин, які житимуть довше, ніж зазвичай, з покоління в покоління. Зокрема, у лабораторіях вивели дріжджові клітини, круглих червів і плодових мушок, що живуть довше, ніж звичайні. Науковий світ був приголомшений, коли Майкл Роуз з Каліфорнійського університету в Ірвіні оголосив, що йому вдалося за допомогою селекції збільшити тривалість життя плодових мушок на 70 відсотків. У його "супермух", або мух-Мафусаїлів, виявили більшу кількість антиоксиданту супероксиддисмутази, що сповільнює шкідливу дію вільних радикалів. У 1991 році Томас Джонсон з Університету штату Колорадо в Боулдері визначив ген, який назвав *age-1* і який, схоже, відповідає за старіння у круглих червів і збільшує тривалість їхнього життя на 110 відсотків. "Якщо в людей є щось схоже на *age-1*, то, можливо, ми й справді зможемо зробити щось грандіозне", – зауважив він.<sup>16</sup>

Науковці вже визначили кілька генів (*age-1*, *age-2*, *daf-2*), що регулюють процес старіння у нижчих організмів, проте ці гени також мають відповідники в людей. Один науковець зауважив, що змінити тривалість життя у дріжджових клітин – це майже те саме, що натиснути на вмикач світла. Якщо активувати конкретний ген, клітини живуть довше. Якщо дезактивувати, вони живуть менше.

Виводити дріжджові клітини, які живуть довше, відносно просто; значно складніше "виводити" людей, оскільки ті живуть так довго, що випробувати той чи інший метод майже неможливо. Однак визначати гени, що відповідають за старіння, в майбутньому, можливо, будуть швидше, особливо коли кожний із нас матиме карту власного геному на компакт-диску. На той час науковці матимуть величезну базу даних з мільярдами генів, які можна буде аналізувати за допомогою комп'ютерів. Науковці зможуть вивчати мільйони генів двох категорій людей – молоді й старих. Порівнявши ці дві категорії,



можна буде визначити, де саме на генетичному рівні відбувається старіння. Попередній аналіз уже дав змогу виявити близько шістдесяті генів, у яких, схоже, зосереджене старіння.

Приміром, науковці знають, що довголіття має тенденцію бути родинною рисою. Якщо хтось живе довго, то, як правило, його батьки теж жили довго. Ця закономірність не надто виразна, але простежується і її можна визначити чисельно. Науковці, що спостерігають за однойцевими близнюками, яких розділили при народженні, бачать це й на генетичному рівні. Однак тривалість життя людини не на 100 відсотків визначається генами. На думку науковців, які вивчають цю проблему, тривалість життя тільки на 35 відсотків зумовлена генами. Отже, в майбутньому, коли кожен зможе одержати за 100 доларів власний геном, з'явиться можливість проаналізувати на комп'ютері геноми мільйонів людей і визначити гени, які частково визначають нашу тривалість життя.

До того ж імовірно, що за допомогою цих комп'ютерних досліджень можна буде точно визначити, в якому саме місці відбувається старіння. Ми знаємо, що в автомобілі старіння відбувається передусім у двигуні, де окислюється і згорає бензин. Так само генетичний аналіз свідчить, що старіння зосереджене в “двигуні” клітини – в мітохондріях, тобто “клітинних електростанціях”. Це дозволило науковцям звузити пошук “генів старіння” і спонукало шукати способів, як пришвидшити відновлення генів усередині мітохондрій, аби зупинити старіння.

До 2050 року науковці, можливо, навчатимуться сповільнювати процес старіння різними способами – наприклад, за допомогою стовбурових клітин, вирощування людських органів у лабораторії та генної терапії. Імовірно, люди житимуть до 150 років чи й довше. До 2100 року, можливо, науковці навчатимуться зупиняти старіння, активізуючи механізми відновлення клітин, і тоді люди житимуть іще набагато довше.

## ОБМЕЖЕННЯ КАЛОРИЙ

Ця теорія може також пояснити той дивний факт, що обмеження споживання калорій (тобто зниження кількості калорій, що їх ми їмо, на 30 відсотків чи й більше) збільшує тривалість життя на 30 відсотків. Усі досі досліджені організми – від дріжджових клітин, павуків і комах до кролів, собак і віднедавна мавп – демонструють це дивне явище. У тварин, яких тримають на такій обмеженій дієті,

рідше з'являються пухлини, вони менше страждають від хвороб серця, діабету і хвороб, пов'язаних зі старінням. Фактично, обмеження споживання калорій – це єдиний відомий механізм, що гарантовано збільшує тривалість життя, який випробували неодноразово чи не на всьому тваринному світі, і він завжди діє безвідмовно. До недавнього часу єдиним біологічним видом, на якому низькокалорійну дієту ще не випробували, були примати (до яких належать теж і люди), оскільки цей вид живе так довго.

Науковцям особливо нетерпеливилось побачити результати обмеженого споживання калорій у макак-резусів. Нарешті 2009 року довгоочікувані результати з'явилися.<sup>17</sup> Дослідження, здійснені в Університеті штату Вісконсин, засвідчили, що мавпи, яких двадцять років тримали на низькокалорійній дієті, менше страждають від хвороб усіх типів: діабету, раку, серцевих хвороб. Загалом у цих мавп стан здоров'я виявився кращий, ніж у їхніх побратимів, що харчувались нормально.

Є одна теорія, яка може це пояснити: природа дає тваринам “на вибір” два варіанти, як вони можуть використовувати енергію. В часи достатку енергію використовують для репродукції. У часи голоду тіло блокує репродукцію, заощаджує енергію і намагається пережити голод. У тваринному світі напівголодне існування – звичне явище, і тому тварини часто “обирають” припинити розмноження, сповільнити обмін речовин, жити довше і сподіватись на кращі часи в майбутньому.

Заповітна мета геронтологічних досліджень – зберегти якимось чином переваги низькокалорійного харчування, уникнувши його недоліків (голодування). Очевидно, природна схильність людей – набирати вагу, а не скидати. Насправді перебувати на низькокалорійній дієті невесело – доводиться споживати їжу, якої не схотів би навіть пустельник. Крім того, тварини, яких тримають на особливо суворій, обмеженій дієті, стають сонні, мляві й повністю втрачають інтерес до сексу. Тож науковці намагаються знайти ген, який контролює цей механізм, аби ми могли користуватись перевагами низькокалорійного харчування і не відчувати його недоліків.

Важливий ключ до цієї проблеми знайшов 1991 року дослідник із Массачусетського технологічного інституту Леонард П. Гуаренте з одностумцями; ці науковці шукали ген, який міг би збільшити тривалість життя дріжджових клітин. Гуаренте і Девід Сінклер із Гарварда зі своїми колегами виявили ген *SIR2*, що причетний до виникнення ефектів низькокалорійного харчування. Цей ген відповідає за пошук енергетичних резервів клітини. Коли ці енергетичні резерви малі, як

у час голодування, цей ген активується. Це саме те, чого можна очікувати від гена, який контролює ефекти низькокалорійного харчування. Науковці також виявили, що ген *SIR2* має відповідник у мишей і в людей, – ці відповідники називають генами *SIRT*, і вони виробляють білки, що мають назву сіртуїни. Тоді науковці почали шукати хімічні речовини, що активують сіртуїни, і відкрили ресвератрол.

Усе це було дуже цікаво, оскільки науковці теж вважають, що ресвератрол, імовірно, забезпечує корисність червоного вина і може пояснити “французький парадокс”. Французька кухня славиться своїми вишуканими соусами, що містять чимало тваринних і рослинних жирів, однак французи мають нормальну тривалість життя. Можливо, ця загадка пояснюється тим, що французи п’ють багато червоного вина, яке містить ресвератрол.

Науковці виявили, що активатори сіртуїну можуть захистити мишей від різного розмаїття хвороб, серед яких рак легень і кишківника, меланома, лімфома, діабет II типу, серцево-судинні захворювання і хвороба Альцгеймера – про це свідчать, зокрема, дослідження Сінклера.<sup>18</sup> Якщо хоча б невеличку частку цих хвороб можна буде лікувати за допомогою сіртуїнів у людей, то це здійснить революцію в медицині.

Нещодавно було висунуто одну теорію, яка пояснює дивовижні властивості ресвератролу. На думку Сінклера, головна мета сіртуїну – утримувати певні гени від активації. Приміром, хромосоми однієї-єдиної клітини в розпрямленому вигляді розтягнулися б на шість футів, і молекула стала б астрономічно довга. У кожний конкретний момент організм потребує лише невеличку частку всіх генів, з яких складається хромосома; всі ж інші мусять залишатися неактивними. Клітина блокує більшість генів, коли вони не потрібні, щільно загортаючи хромосому в хроматин, який підтримується сіртуїном.

Однак іноді в делікатній структурі хромосом трапляються катастрофічні збої – приміром, рветься одна з ниток подвійної спіралі. Тоді сіртуїни починають діяти і допомагають пошкоджену хромосому. Але коли сіртуїни тимчасово покидають свій пост, щоб рятувати пошкоджену хромосому, вони мусять припинити свою першочергову роботу – блокування генів. Відтак гени активуються і виникає генетичний хаос. Такий збій, на думку Сінклера, – один з основних механізмів старіння.

Якщо це правда, то ймовірно, що сіртуїни можуть не тільки стримати старіння, а й повернути цей процес у зворотний бік. Пошкоджені ДНК в наших клітинах складно ремонтувати й повертати

до первинного стану. Проте Сінклер вважає, що старіння великою мірою зумовлене тим, що сіртуїни відволікаються від свого першочергового завдання, що призводить до дегенерації клітин. А цьому відволіканню сіртуїнів, на його думку, легко запобігти.

## ФОНТАН МОЛОДОСТІ?

Це відкриття, однак, мало один небажаний побічний продукт – воно зчинило величезний галас у медіях. Про ресвератрол раптом заговорили в популярних телепрограмах *60 хвилин* і *Шоу Опри Вінфрі* – і відразу виник ажіотаж в інтернеті, вмиль з'явилися якісь сумнівні компанії, що обіцяли еліксир життя. Складалося враження, що жодний знахар чи шарлатан не хотів пропустити нагоди й собі скористатися популярністю нового чудесного засобу.

(Я мав можливість узяти інтерв'ю в Гуаренте – чоловіка, що спровокував увесь цей рейвах у медіях, – у його лабораторії. Він був обережний у своїх заявах, усвідомлюючи те, як на його результати можуть зреагувати медії і які хибні уявлення вони можуть породити в людей. Зокрема його обурювало, що стільки інтернет-сайтів тепер рекламують ресвератрол як якийсь “фонтан молодості”. Це жахливо, зауважив він, що люди намагаються нажитися на раптовій славі ресвератролу – попри те, що більшість результатів іще не остаточні. Однак він не виключав би можливості, що колись, якщо “фонтан молодості” таки знайдуть, – якщо припустити, що він справді існує, – то *SIR2* можливо, відіграє в цьому певну роль. Його колега Сінклер, дійсно, зізнається, що приймає ресвератрол щодня у великих кількостях.)<sup>19</sup>

Інтерес наукової громади до геронтологічних досліджень такий великий, що Медична школа Гарвардського університету 2009 року організувала конференцію, яка зібрала деяких провідних дослідників у цій сфері. В аудиторії було чимало таких, хто особисто перебуває на низькокалорійній дієті. Виснажені й кволі на вигляд, ці люди апробували власну наукову філософію, обмежуючи себе в харчуванні. Там також були члени Клубу 120, що мають намір дожити до 120 років. Особливу увагу привертала компанія *Sirtris Pharmaceuticals*, яку заснували спільно Девід Сінклер і Крістоф Вестфал і яка зараз проводить клінічні випробування деяких замінників ресвератролу власного виробництва. Вестфал заявив категорично: “Через п'ять, шість чи сім років з'являться ліки, що продовжуватимуть життя”.<sup>20</sup>

Хімічні речовини, яких іще кілька років тому навіть не існувало, тепер є об'єктом пильної уваги і проходять клінічні випробування. *SRT501* випробовують як засіб проти множинної мієломи і раку товстої кишки. *SRT2104* – як засіб проти діабету II типу. Різні групи науковців досліджують не лише сіртуїни, а й багато інших генів, білків і хімічних речовин (у тому числі *IGF-1*, *TOR* і рапаміцин).

Тільки час покаже, чи ці клінічні випробування виявляться успішними. Історія медицини рясніє прикладами обману, шарлатанства й шахрайства, що були пов'язані з процесом старіння. Однак наука, на відміну від забобонів, ґрунтується на даних, які можна відтворити, перевірити і спростувати. Сьогодні Національний інститут старіння ініціює програми, що мають на меті випробування різноманітних речовин щодо їхнього впливу на старіння. Побачимо, чи ці дослідження, які дали такі цікаві результати на тваринах, продовжать на людях.

## ЧИ МУСИМО МИ ВМИРАТИ?

Вільям Гейзелтайн, один із піонерів у галузі біотехнологій, якось сказав мені: “Природа життя – не смертність. Це безсмертя. ДНК – це безсмертна молекула. Вперше вона з'явилася, мабуть, 3,5 мільярда років тому\*. Та сама молекула, через дублювання, існує й сьогодні... Це правда, що ми зношуємось, але ми вже говорили, що колись у майбутньому людина, ймовірно, зможе це змінити. Спочатку продовжити життя вдвічі або й утричі. І можливо, якщо ми достатньо добре зрозуміємо наш мозок, – продовжити існування нашого тіла й нашого мозку до безмежності. І не думаю, що це буде якийсь неприродний процес”.

Біологи-еволюціоністи зазначають, що еволюційного тиску тварини зазнають у репродуктивному віці. Після закінчення репродуктивного віку тварина може, фактично, ставати тягарем для групи, і, можливо, тому еволюція запрограмувала тварин так, що вони вмирають від старості. Отже, ймовірно, що ми запрограмовані вмирати. Однак не виключено, що ми можемо перепрограмувати себе так, щоб жити довше.

\* 3,5 мільярда років тому на Землі вже існували клітинні форми життя, виникненню яких, очевидно, передувала хімічна еволюція, яка створила ДНК. Тому вік ДНК більший, ніж 3,5 мільярда років. – *Прим. наук. ред.*

Справді, якщо подивитися, приміром, на ссавців, то з'ясується, що чим більша тварина, тим повільніше у неї відбувається обмін речовин і тим довше вона живе. Наприклад, миші спалюють величезну кількість калорій з розрахунку на одиницю ваги тіла і живуть лише близько чотирьох років. У слонів обмін речовин значно повільніший, і вони живуть до сімдесяти років. Якщо обмін речовин корелюється з накопиченням помилок, то це, очевидно, узгоджується з ідеєю, що тварина живе довше, якщо в неї повільніший обмін речовин. (Це може пояснити англійську ідіому “спалювати свічку з обох кінців”, що означає “не шкодувати себе, перевтомлюватись”. Якось я читав оповідання про те, як одному чоловікові джин пообіцяв виконати будь-яке його бажання. Той відразу захотів жити 1000 років. Джин виконав це бажання і перетворив чоловіка на дерево.)

Біологи-еволюціоністи намагаються пояснити середню тривалість життя різних біологічних видів крізь призму того, як конкретна тривалість життя допомагає конкретному виду виживати в умовах дикої природи. На їхню думку, середня тривалість життя визначена генетично, оскільки вона допомагає біологічному виду виживати й розмножуватись. Миші живуть так недовго, оскільки на них постійно полюють різноманітні хижаки, а взимку вони часто замерзають до смерті. Свої гени передають наступному поколінню ті миші, що мають найчисельніше потомство, а не ті, що живуть найдовше. (Якщо ця теорія правильна, то можна припустити, що якби миші уміли якось рятуватися від хижаків, то вони б жили довше. Справді, кажани, що за розміром такі самі, як миші, живуть у 3,5 рази довше).

Проте одна аномалія спостерігається в рептилій. Так виглядає, що в деяких із них тривалість життя насправді не обмежена. Можливо навіть, що вони могли б жити вічно. Алігатори і крокодили з віком просто збільшуються в розмірах, але не втрачають ні сили, ні енергії. (У підручниках часто пишуть, що алігатори живуть лише до сімдесяти років. Однак це, мабуть, зумовлено тим, що у сімдесятирічному віці помер працівник зоопарку, який доглядав за алігаторами. Інші підручники чесніші і просто пишуть, що тривалість життя цих створінь більша за сімдесят років, але досі її ще точно не виміряли в лабораторних умовах.) Насправді ці тварини не безсмертні, оскільки вмирають від нещасних випадків, голоду, хвороб тощо. Однак якщо їх тримати в зоопарку, то вони можуть жити надзвичайно довго, мало не вічно.

## БІОЛОГІЧНИЙ ГОДИННИК

Іншим важливим ключем може бути теломера клітини, що діє як “біологічний годинник”. Теломери містяться на кінчиках хромосом, як пластикові наконечники на шнурівках у взутті. Після кожного циклу ділення клітини вони стають щораз коротші. Зрештою, після приблизно шістдесяті таких циклів (у випадку клітин шкіри) теломери закінчуються. Тоді клітина вступає у фазу старіння й перестає функціонувати справно. Тож теломери можна порівняти з бікфорд-овим шнуром. Якщо після кожного циклу ділення клітини цей шнур стає коротший, то врешті-решт він зникає зовсім і клітина перестає ділитися.

Це явище називають межею Гейфліка, і воно, схоже, обмежує тривалість життя деяких клітин. Приміром, ракові клітини не мають межі Гейфліка і виробляють фермент із назвою теломераза, який не дає теломерам скорочуватись.

Теломеразу можна синтезувати. Якщо застосувати її до клітин шкіри, то ці клітини, схоже, починають ділитися безкінечно. Вони стають безсмертні.

Однак тут криється небезпека. Ракові клітини теж безсмертні, вони діляться всередині пухлини безкінечно. Насправді саме тому ракові клітини смертельно небезпечні – вони діляться без обмежень, доки тіло не втрачає здатність функціонувати. Тому теломеразу треба досліджувати дуже обережно. Перш ніж застосовувати будь-який метод лікування з використанням телорази, аби “накрутити” біологічний годинник, треба пересвідчитись, що він не спричинить рак.

## БЕЗСМЕРТЯ ПЛЮС МОЛОДІСТЬ

Для когось перспектива продовження людського життя – джерело радості, а для когось – жахіття: достатньо лише уявити вибухоподібне зростання населення й суспільство з немічних старих, які неминуче доведуть країну до банкрутства.

Поєднання біологічних, механічних і нанотехнологічних методів насправді може не тільки продовжити тривалість людського життя, а й зберегти людям молодість. Роберт Фрайтас-молодший, що застосовує нанотехнології в медицині, сказав: “За кілька десят-

ків років такі втручання можуть стати звичною справою. Щорічні огляди й очищення і час до часу деякі серйозні відновлювальні операції дадуть змогу раз на рік повертати біологічний вік людини до більш-менш постійного фізіологічного віку, який вона обере сама. Все одно людина може врешті-решт померти від якихось випадкових причин, однак вона житиме принаймні в десять разів довше, ніж люди живуть тепер”.<sup>21</sup>

У майбутньому продовження тривалості життя не залежатиме від легендарного “фонтану молодості”. Імовіріше, цього досягатимуть, поєднуючи такі методи:

1. Вирощування нових органів на заміну старих, що зносилися чи захворіли, за допомогою інженерії тканин і стовбурових клітин.
2. Споживання коктейлю з білків і ферментів, що активізують механізми відновлення клітин, регулюють обмін речовин, “накручують” біологічний годинник і зменшують окислення.
3. Застосування генної терапії, щоб модулювати гени, які можуть сповільнити процес старіння.
4. Підтримання здорового способу життя (вправи і здорове харчування).
5. Використання наносенсорів, щоб виявляти такі хвороби, як рак, за багато років до того, як вони стануть проблемою.

## **НАСЕЛЕННЯ, ЇЖА І ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ**

Одне питання не дає спокою: якщо середня тривалість життя збільшиться, то чи не страждатимемо ми від перенаселення? Цього ніхто не знає.

Відтермінування старіння тягне за собою цілу низку соціальних наслідків. Якщо ми житимемо довше, то чи не стане Земля перенаселеною? Дехто зауважує, що людське життя вже й так істотно продовжилось – лише за сторіччя середня тривалість життя людей зростає з сорока п’яти до сімдесяти, а потім і вісімдесяти років. Однак замість демографічного вибуху відбувається радше щось протилежне. Оскільки люди тепер живуть довше, то вони роблять кар’єру й не поспішають народжувати дітей. Насправді корінне населення Європи сьогодні різко зменшується. Отже, якщо люди житимуть довше й



заможніше, то, можливо, вони народжуватимуть дітей через більші інтервали і загалом матимуть не так уже й багато нащадків. Маючи попереду ще багато десятиріч молодості, люди відповідно планува- тимуть своє життя й не поспішатимуть народжувати дітей.

Інші твердять, що люди відмовлятимуться від технологій продов- ження життя, тому що вважатимуть їх протиприродними й такими, що суперечать їхнім релігійним переконанням. Справді, як свідчать не- формальні опитування широкої публіки, більшість людей уважає, що смерть цілком природна й надає життю сенсу. (Втім, у цих опитуван- нях переважно брали участь люди молодого й середнього віку. Якщо ви підете в притулок для людей похилого віку, де люди слабшають з кожним днем, постійно терплять біль і чекають смерті, й поставите їм те саме запитання, то, можливо, ви почуєте зовсім іншу відповідь.)

Грег Сток з Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі каже: “Поступово наші сумніви щодо намагання уподібнитися Богу й наші тривоги стосовно продовження тривалості життя поступлять- ся місцем новій мантрі: “Де роздобути пігулку?””<sup>22</sup>

У 2002 році, використовуючи найновіші демографічні дані, науков- ці обчислили, що зараз на Землі живе 6 відсотків усіх будь-коли на- роджених людей.<sup>23</sup> Річ у тім, що впродовж історії людства чисельність населення Землі переважно коливалась довкола цифри мільйон. Люди були змушені тяжко добувати їжу, якої було обмаль, і тому населення не зростало. Навіть у пік розквіту Римської імперії чисельність її на- селення, за оцінками науковців, становила лише 55 мільйонів.

Однак у минулі 300 років населення світу різко зросло – водночас із розвитком сучасної медицини й промисловою революцією, яка за- безпечила вдосталь продовольства й інших ресурсів. У двадцятому сторіччі чисельність світового населення сягнула нових висот, зріс- ши за період від 1950 до 1992 року більш, ніж удвічі: з 2,5 мільярда вона сягнула 5,5 мільярда. Сьогодні населення світу становить 6,7 мільярда. Щороку до людської раси додається 79 мільйонів людей – це перевищує населення цілої Франції.<sup>24</sup>

Як наслідок, людству вже неодноразово пророкували кінець світу, однак досі все якось обходилося. Іще 1798 року Томас Мальтус по- переджав нас про те, що станеться, якщо населення Землі зросте на- стільки, що їжі на всіх не вистачатиме. Це може призвести до голоду, бунтів, падіння урядів, масового вимирання людей, і так триватиме, аж доки не встановиться нова рівновага між населенням і ресурсами. Оскільки обсяг продовольчих ресурсів збільшується з часом тільки

лінійно, а населення зростає експоненціально, то здавалося неминучим те, що рано чи пізно в світі настане криза. Мальтус передбачав настання масового голоду до середини дев'ятнадцятого сторіччя.

Однак у дев'ятнадцятому сторіччі населення світу перебувало тільки на початковій стадії великого зростання, і в зв'язку з відкриттям нових земель, заснуванням колоній, збільшенням запасів продовольства і т. д. катастроф, які прогнозував Мальтус, так і не сталося.

У 1960-х роках з'явилося іще одне пророцтво в стилі Мальтуса: незабаром на Землі станеться шалений демографічний вибух і до 2000 року земній цивілізації настане кінець. Це пророцтво не справдилось. Завдяки “зеленій революції” обсяги продовольства істотно зросли. Статистичні дані свідчать, що продовольчі ресурси зростають швидше, ніж населення Землі, і це тимчасово спростувало логіку Мальтуса. За період від 1950 до 1984 року виробництво зерна зросло більше, ніж на 250 відсотків, переважно завдяки новим добривам і новим агротехнологіям.

І цього разу все обійшлося. Однак сьогодні населення Землі зростає швидкими темпами, і дехто стверджує, що ми от-от досягнемо межі можливостей Землі створювати продовольчі ресурси.

Виробництво продовольства починає сповільнюватись – це стосується водночас і виробництва зерна і морепродуктів, і це не віщує нам нічого доброго. Головний науковий радник уряду Великої Британії попереджає, що до 2030 року зростання населення в поєднанні зі скороченням обсягів продовольства й виробництва енергії може стати серйозною проблемою. Як стверджує Продовольча та сільськогосподарська організація ООН, до 2050 року людству доведеться виробляти на 70 відсотків більше їжі, щоб прогодувати додаткових 2,3 мільярда людей, інакше катастрофи не минути.

Можливо, ці прогнози недооцінюють реальний масштаб проблеми. Сьогодні сотні мільйонів людей у Китаї та Індії піднімаються до рівня середнього класу, і ці люди схочуть мати всі ті атрибути заможного життя, що їх вони бачили в голлівудських фільмах: два авта на родину, просторий будинок у передмісті, гамбургери й картоплю фрі тощо – і це може виснажити ресурси планети. Лестер Браун, один із провідних екологів світу й засновник Інституту всесвітнього спостереження у Вашингтоні, зізнався мені, що Земля, ймовірно, не зможе забезпечити стилю життя, властивого для середнього класу, стільком сотням мільйонів людей.

## НАДІЯ ВСЕ Ж ЗАЛИШАЄТЬСЯ

Однак промінчик надії таки залишається. Контроль народжуваності, що колись належав до заборонених тем, уже утвердився в розвинутому світі й тепер прокладає стежки у світ, що розвивається.

В Європі і Японії ми спостерігаємо скорочення населення, а не зростання. У деяких європейських країнах рівень народжуваності становить усього 1,2-1,4 дитини на сім'ю – це значно нижче від рівня відновлення чисельності населення, який становить 2,1 дитини на сім'ю. Японія має одночасно три проблеми. По-перше, її населення старішає найшвидше на Землі. Приміром, японки вже понад двадцять років утримують світову пальму першості за середньою тривалістю життя. По-друге, в Японії різко падає народжуваність. І, по-третє, уряд утримує імміграцію на дуже низькому рівні. Ці три демографічні чинники створюють сповільнену катастрофу. А Європа в цьому не дуже відстає від Японії.

Із цього випливає, що найкращий у світі контрацептив – це достаток. У минулому селяни, не маючи жодних пенсійних програм чи соціальних гарантій, намагалися народжувати якомога більше дітей, щоб ті працювали в полі й доглядали їх у старості. Розрахунок селян був простий: кожна нова дитина в сім'ї означала додаткову пару робочих рук, додатковий дохід і додаткового доглядача за батьками в похилому віці. Однак коли селянин піднімається до рівня середнього класу й одержує всі відповідні блага – зокрема пенсійні гарантії й комфортне життя, – то сімейне рівняння змінюється: кожна нова дитина зменшує дохід і знижує якість життя.

У країнах третього світу проблема протилежна – населення швидко зростає і значну його частку становлять діти й підлітки. Втім, навіть там, де очікується найбільший демографічний вибух, – в Азії й Африці на південь від Сахари, – рівень народжуваності почав знижуватися з низки причин.

По-перше, сільське населення швидко урбанізується – фермери залишають успадковані землі й рушають на пошуки щастя до мегаполісів. У 1800 році тільки 3 відсотки населення жило в містах. До кінця двадцятого сторіччя ця цифра виросла до 47 відсотків, і очікується, що в найближчі десятиріччя вона ще істотно зросте. У місті виховувати дитину значно дорожче, і це різко зменшує кількість дітей у сім'ї. Житло, харчування та інші речі в місті коштують надто дорого, і робітники, що живуть у нетрях мегаполісів, виконують той

самий простий розрахунок і доходять висновку, що кожна дитина зменшує їхній добробут.

По-друге, коли країни індустріалізуються, як, зокрема, Китай та Індія, в них формується середній клас, який хоче мати менше дітей, – так само, як середній клас на індустріалізованому Заході. І, потрете, підвищується рівень освіти жінок, у результаті чого навіть у таких бідних країнах, як Бангладеш, з'являється клас жінок, які хочуть мати менше дітей. Завдяки одній масштабній освітній програмі рівень народжуваності в Бангладеш знизився з 7 до 2,7 дітей на сім'ю – навіть без масштабної урбанізації чи індустріалізації.

З уваги на всі ці чинники ООН постійно переглядає власні прогнози стосовно зростання чисельності населення. Оцінки й досі різняться, однак до 2040 року населення Землі може сягнути 9 мільярдів. Воно й далі зростатиме, проте темпи цього зростання сповільняться, і зрештою зростання зовсім припиниться. За оптимістичними прогнозами, населення світу стабілізується до 2100 року приблизно на рівні 11 мільярдів.

Може здатися, що така кількість населення перевищує можливості земних ресурсів. Однак усе залежить від того, як визначати ці можливості, адже не виключено, що нас чекає ще одна зелена революція.

Один можливий ключ до деяких із цих проблем – біотехнології. В Європі генномодифіковані продукти харчування зажили лихої слави, яка може протриматися ціле покоління. Біотехнологічна промисловість продавала фермерам одночасно і гербіциди, і нові культури, що стійкі до дії гербіцидів. Для біотехнологічної галузі це означало збільшення обсягів продажу, однак для її клієнтів це означало збільшення кількості отруйних речовин у їжі; відтак цей ринок незабаром згас.\*

Утім, у майбутньому на ринку можуть з'явитися нові сорти зернових, такі, як “суперрис”, – тобто культури, спеціально створені за допомогою генної інженерії так, щоб давати високий урожай у посушливій і неродючій місцевості. Складно буде протистояти на моральному ґрунті запровадженню культур, що безпечні й можуть нагодувати сотні мільйонів людей.

---

\* Насправді використання трансгенних культурних рослин, стійких до гербіцидів, дає змогу зменшити обсяги використання гербіцидів у рослинництві і тим самим зменшити забруднення довкілля. – *Прим. наук. ред.*

## ВІДРОДЖЕННЯ ВИМЕРЛИХ ФОРМ ЖИТТЯ

Однак інших науковців цікавить не лише те, як продовжити людське життя й обдурити смерть. На додаток до цього їх цікавить воскресіння з мертвих.

У фільмі *Парк юрського періоду* науковці добувають ДНК з останків динозаврів, імплантують її в яйця рептилій і повертають динозаврів до життя. Хоча досі ще нікому не вдалося добути з останків динозаврів ДНК, що була б придатною до використання, деякі дані свідчать, що ця мрія не така вже й абсурдна. До кінця цього сторіччя у наших зоопарках можуть з'явитися створіння, що зникли з поверхні Землі тисячі років тому.

Як ми вже зазначали, Роберт Ланца зробив перший великий крок у цьому напрямі, клонувавши бантенга – представника біологічного виду, якому загрожує вимирання. Він вважає, що було б соромно допустити, аби цей рідкісний бик вимер. Тепер він задумав новий проект: клонувати ще одного бантенга, однак протилежної статі. У ссавців стать організму визначається хромосомами X та Y. Ланца впевнений, що, здійснивши невеличкі маніпуляції з цими хромосомами, він зможе клонувати з тієї самої туші бантенга ще одну тварину, але протилежної статі. Якщо так піде далі, то незабаром у зоопарках по всьому світу можна буде спостерігати, як представники давно вимерлих біологічних видів народжують малят.

Якось я вечеряв з Річардом Докінзом з Оксфордського університету, автором книжки *Егоїстичний ген*. Він заходить іще далі. Докінз припускає, що колись ми зможемо воскресити багато різноманітних форм життя, які не просто перебувають на межі вимирання, а давно вимерли. Спочатку він зазначає, що через кожні 27 місяців загальна кількість секвенованих генів подвоюється. Тоді обчислює, що в найближчі десятиріччя вартість повного секвенування будь-якого геному впаде до 160 доларів. Він передбачає час, коли біологи носитимуть зі собою невеличкий пристрій, за допомогою якого зможуть за лічені хвилини секвенувати повний геном будь-якої форми життя, що їм трапиться.

На цьому Докінз не зупиняється. Він припускає, що до 2050 року ми зможемо на основі самого геному реконструювати цілий організм. Він пише: "Я вважаю, що до 2050 року ми навчимося читати мову життя. Ми вводитимемо геном невідомої тварини в комп'ютер, і той реконструюватиме не лише зовнішній вигляд цієї тварини, а й

світ, у якому жили її предки, – до найменших подробиць: хто на них полював або на кого полювали вони самі, хто на них паразитував або на кому паразитували вони самі, їхні місця гніздування і навіть їхні надії й страхи”.<sup>25</sup> Цитуючи працю Сідні Бреннера, Докінз висловлює сподівання, що колись ми зможемо реконструювати геном “відсутньої ланки” між людиною й мавпою.

Це було б справді грандіозним досягненням. Як свідчать викопні рештки й ДНК, наші предки відділилися від мавп близько шести мільйонів років тому.

Наша ДНК відрізняється від ДНК шимпанзе лише на 1,5 відсотка, і в майбутньому, ймовірно, комп’ютерна програма зможе проаналізувати ДНК людини й шимпанзе і математично визначити приблизний склад ДНК спільного предка, від якого походять обидва ці види. Коли гіпотетичний геном нашого спільного предка буде реконструйовано, комп’ютерна програма відтворить його зовнішній вигляд та інші характеристики. Докінз називає цей проект *Геномом Люсі* на честь знаменитих останків австралопітека жіночої статі, знайдених в Ефіопії.

Він навіть припускає, що як тільки комп’ютерна програма відтворить геном цієї відсутньої ланки еволюції, то можна буде в дійсності створити ДНК цього організму, імплантувати в людську яйцеклітину і ввести в матку жінки, яка згодом народить нашого з мавпами спільного предка.

Ще кілька років тому такий сценарій рішуче відкинули б як нереальний, однак на сьогодні вже існують деякі факти, які свідчать, що він не такий уже й абсурдний.

По-перше, ті нечисленні гени, які відділяють нас від шимпанзе, сьогодні докладно вивчають. Один цікавий момент – це ген *ASPM*, що відповідає за розмір мозку. Мозок предків людини збільшився кілька мільйонів років тому з незрозумілих причин. Мутація гена *ASPM* призводить до мікроцефалії – зменшення розміру черепа й мозку на 70 відсотків; приблизно такий мозок був у наших давніх предків мільйони років тому. Цікаво, що за допомогою комп’ютерів можна проаналізувати історію цього гена, й аналіз свідчить, що за минулі п’ять-шість мільйонів років, відколи наші предки відділилися від шимпанзе, цей ген мутував п’ятнадцять разів, що збігається в часі зі збільшенням людського мозку. Порівняно з нашими родичами-приматами, в людини цей важливий ген змінювався найшвидше.

Ще цікавіша ділянка геному має назву *HARI* і містить лише 118 “літер” генетичного алфавіту.<sup>26</sup> У 2004 році виявили, що відмін-

ність між шимпанзе й людьми в цій ділянці становить лише 18 “літер”, чи азотистих основ. Шимпанзе й кури розділилися 300 мільйонів років тому, однак пари основ у ділянці *HAR1* у них відрізняються лише на дві “літери”. Це означає, що регіон ДНК *HAR1* залишався дивовижно стабільним упродовж мільйонів років еволюції – аж доки не з’явилась людина. Тож можливо, що гени, які роблять нас людьми, містяться саме тут.

Однак є одне ще важливіше досягнення, що додає вірогідності припущенню Докінза. Науковцям уже вдалося секвенувати повний геном нашого найближчого генетичного родича – давно вимерлого неандертальця. Можливо, комп’ютерний аналіз геномів людини, шимпанзе й неандертальця дасть змогу реконструювати геном “відсутньої ланки” за допомогою чистої математики.

## ЧИ ВАРТО ПОВЕРТАТИ НЕАНДЕРТАЛЬЦЯ?

Імовірно, що сучасна людина й неандерталець розділились приблизно 300 000 років тому. Проте ці істоти вимерли в Європі близько 30 000 років тому. Довгий час уважалось, що добути з клітин давно вимерлих неандертальців ДНК, придатну до використання, неможливо.

Однак 2009 року оголосили, що команда науковців під керівництвом Сванте Паабо з Інституту еволюційної антропології товариства Макса Планка в Ляйпцігу створила перший чернетковий варіант повного геному неандертальця, проаналізувавши ДНК шести неандертальців. Це було епохальне досягнення. Як і очікувалось, геном неандертальця виявився дуже подібним до геному людини (обидва містять по 3 мільярди пар основ), проте й відрізняється від нього в деяких важливих аспектах.

Антрополог Річард Кляйн зі Стенфордського університету, коментуючи працю Паабо і його колег, зауважив, що ця реконструкція ДНК, можливо, дасть відповіді на давні питання стосовно поведінки неандертальців – зокрема чи вміли вони говорити. Люди, порівняно з шимпанзе, мають у гені *FOXP2* дві конкретні зміни, які, зокрема, дають нам змогу вимовляти тисячі слів. Докладний аналіз свідчить, що неандерталець мав у гені *FOXP2* ті самі дві генетичні зміни. Тож можна припустити, що неандерталець умів вимовляти слова так само, як людина.

Оскільки неандертальці були нашими найближчими генетичними родичами, вони надзвичайно цікавлять наукове товариство. Дехто з науковців заводить мову про те, що колись можна буде відтворити ДНК неандертальця й імплантувати в яйцеклітину, з якої одного чудового дня розвинеться живий неандерталець. У такому разі неандерталець – після тисяч років неіснування – знову ходитиме поверхнею Землі.

Джордж Черч із Медичної школи Гарварда обчислив, що повернення неандертальця до життя коштувало б лише 30 мільйонів доларів, і навіть запропонував план дій, як цього можна досягнути. Спочатку треба поділити весь геном людини на відрізки по 100 000 пар основ. Кожний такий відрізок слід умістити в бактерію і генетично змінити так, щоб він відповідав геному неандертальця. Тоді ці змінені відрізки ДНК належить знову зібрати до купи, щоб з них утворилась ціла ДНК неандертальця. Потім цю клітину треба “перепрограмувати”, тобто повернути до ембріонального стану, й імплантувати в матку самки шимпанзе.<sup>27</sup>

Однак Річард Кляйн висловив цілком правомірну тривогу, запитавши: “І де ви збираєтеся їх тримати – в Гарварді чи в зоопарку?”<sup>28</sup> Усі ці розмови про воскресіння давно вимерлих видів – таких як неандерталець, – “неминуче порушують етичні питання”, застерігає Докінз.<sup>29</sup> Чи матимуть неандертальці права? Що робити, якщо він чи вона захоче мати пару? Хто відповідатиме, якщо неандерталець постраждає чи завдасть шкоди комусь іншому?

Отже, якщо можливо повернути до життя неандертальця, то чи не зможуть науковці колись створити зоопарк давно вимерлих тварин (як-от мамонти)?

## ЧИ МОЖНА ВОСКРЕСИТИ МАМОНТА?

Ця ідея не настільки божевільна, як здається. Науковцям уже вдалося великою мірою секвенувати геном сибірського мамонта. Раніше з вовнистих мамонтів, що замерзли в Сибіру десятки тисяч років тому, вдавалося добувати тільки крихітні фрагменти ДНК. Верб Міллер і Стефан Шустер з Університету штату Пенсильванія зробили неможливе: вилучили з заморожених туш мамонтів 3 мільярди пар основ. Доти рекорд у секвенуванні ДНК вимерлого виду становив лише 13 мільйонів пар основ – це менше від одного відсотка повного



геному тварини. (Цей прорив став можливим завдяки новому секвенатору, що має назву “високопотужний секвенувальний пристрій”, який дає змогу сканувати тисячі генів одночасно, а не кожний окремо.) Інший фокус полягає в тому, що треба знати, де саме найкраще шукати давню ДНК. Міллер і Шустер виявили, що найкращі зразки ДНК містяться не в самому тілі вовнистого мамонта, а у волосяних фолікулах.

Тепер з погляду біології може бути теоретично можливо відродити вимерлу тварину. “Рік тому я б назвав це все науковою фантастикою,” – каже Шустер.<sup>30</sup> Однак сьогодні, коли секвеновано таку велику частку геному мамонта, це вже не здається неймовірним. Шустер навіть окреслив, як саме це можна було б зробити. За його припущенням, достатньо буде якихось 400 000 змін у ДНК азійського слона, аби створити тварину, яка б мала всі істотні властивості вовнистого мамонта. Цілком імовірно, що можна відповідним чином змінити ДНК азійського слона, вмістити змінену ДНК в ядро яйцеклітини слона та імплантувати цю яйцеклітину в матку самиці слона.

Ця група науковців вже планує секвенувати ДНК ще однієї вимерлої тварини – тилаціна, або австралійського сумчастого вовка, близького родича тасманійського диявола; тилацін остаточно вимер 1936 року. Ведуться також розмови про секвенування ДНК птаха дронта. В англійській мові є вислів “мертвий як дронт”, але він може виявитись застарілим, якщо науковцям вдасться добути придатну до використання ДНК з м’яких тканин і кісток тушок дронтів, що збереглися в Оксфорді та інших місцях.

## ПАРК ЮРСЬКОГО ПЕРІОДУ?

Усе це закономірно повертає нас до первинного запитання: чи зможемо ми воскресити динозаврів? Якщо відповісти коротко – то, мабуть, ні. Аби створити парк юрського періоду, треба добути непошкоджену молекулу ДНК біологічного виду, що вимер понад 65 мільйонів років тому, а це, ймовірно, неможливо. Хоча поміж викопних стегнових кісток динозаврів було виявлено м’які тканини, досі з них не вдалося добути ДНК, тільки білки. Ці білки хімічно довели близьку спорідненість королівського тиранозавра з жабою і куркою, однак від цього ще дуже далеко до реконструювання геному динозавра.

Однак Докінз припускає, що можна зіставити геноми різних видів птахів і рептилій і на основі цього реконструювати ДНК-последовність “узагальненого динозавра”. Він зазначає, що можна стимулювати курячий дзьоб, щоб він виростив зачатки зубів (і так само стимулювати змію виростити ноги). Тобто риси давніх біологічних видів, що канули в забуття, можуть ховатися всередині геномів сучасних видів.

Річ у тім, що тепер біологи знають, що гени можна “вмикати” й, відповідно, “вимикати”. Це означає, що гени, які відповідають за давні властивості, можливо, досі існують, але просто “сплять”. Ймовірно, активувавши ці давно заснулі гени, можна відновити й відповідні давні властивості.

Приміром, у далекому минулому кури мали на лапах перетинки. Ген, що відповідає за ці перетинки, нікуди не зник, а просто “вимкнувся”. Якщо “ввімкнути” цей ген знову, то теоретично можна створити курей з перетинками на лапах. Аналогічно, тіло людей колись було вкрите шерстю. Однак ми втратили шерстяний покрив, коли почали пітніти, що є дуже ефективним способом регулювання температури тіла. (Собаки не мають потових залоз і тому охолоджуються відсапуючись.) Ген, що відповідає за шерстяний покрив у людей, очевидно, й досі існує, однак він “вимкнений”. Тож імовірно, “увімкнувши” цей ген, можна створити людей, повністю вкритих шерстю. (Дехто припускає, що саме цим можуть пояснюватися легенди про перевертнів.)

Якщо припустити, що деякі гени динозаврів, по суті, були “вимкнені” впродовж мільйонів років, але досі існують у геномі птахів, то ймовірно, що ці “сплячі” гени можна знову активувати і пробудити у птахів ознаки динозаврів. Отже, гіпотеза Докінза умоглядна, але не фантастична.

## СТВОРЕННЯ НОВИХ ФОРМ ЖИТТЯ

Усі ці розмірковування ведуть до остаточного запитання: чи зможемо ми створювати життя відповідно до власних бажань? Чи можливо не просто відроджувати давно вимерлі види, а й створювати тварин, яких ніколи не існувало? Приміром, чи могли б ми створити

свиню з крилами чи якусь із тварин, що описані в давній міфології? Навіть до кінця цього сторіччя науці буде не під силу створювати тварин на замовлення. Однак вона далеко просунеться на шляху модифікації тваринного світу.

Досі обмежувальним чинником була наша здатність переносити гени. Надійно модифікувати можна лише окремі гени. Наприклад, можна знайти ген, завдяки якому певні тварини в темряві світяться. Цей ген можна виокремити й додати до геному іншої тварини, й та теж почне в темряві світитися. Сьогодні науковці навіть досліджують можливість модифікувати домашніх тварин методом додавання окремих генів.

Однак створення цілком нової тварини, на кшталт химери з грецької міфології (в якій поєднано трьох різних тварин), вимагає перенесення тисяч генів. Аби створити свиню з крилами, треба перенести сотні генів, що відповідають за крило, й допасувати до них відповідно всі м'язи й кровоносні судини. Це значно перевищує можливості сучасної науки.

Однак сьогодні вже з'явилися деякі дані, що можуть наблизити цю футуристичну перспективу. Біологи з подивом виявили, що гени, які описують загальну схему тіла (від голови до п'ят), розташовані в хромосомах у тій самій послідовності, що й відповідні органи в тілі. Це так звані *НОХ*-гени, що визначають загальну будову тіла. Природа, схоже, обрала найкоротший шлях, віддзеркаливши в будові тіла послідовність генів у хромосомах. Це відкриття, своєю чергою, істотно пришвидшило процес розкодування еволюційної історії цих генів.

До того ж існують так звані керівні гени, що, ймовірно, контролюють властивості багатьох інших генів. Маніпулюючи жменькою керівних генів, можна водночас маніпулювати властивостями десятків інших генів.

Озираючись на історію еволюції, ми бачимо, що Матінка Природа створювала загальний план тіла майже так само, як архітектор створює креслення. Геометричні схеми об'єктів розташовані на кресленнях у такій самій послідовності, в якій вони реально з'являються на місцевості. Крім того, креслення виконують за модульним принципом: схеми окремих елементів з'єднують в одну загальну схему.

Отже, людина може навчитися створювати цілком нових тварин-гібридів, використовуючи модульність геному; крім того, генну інженерію можна застосовувати й до людей, зокрема відродити за допомогою біотехнологій відомих історичних постатей. Ланца вва-

жає, що доки з останків давно померлої людини можна добути неушкоджену клітину, доти й можна повернути цю людину до життя. У Вестмінстерському абатстві у нас дбайливо зберігаються тіла давно померлих королів і королев, а також поетів, релігійних діячів, політиків і навіть науковців, таких, як Ісаак Ньютон. Колись, як довірливо поділився зі мною Ланца, нам, можливо, вдасться знайти в їхніх тілах неушкоджені ДНК й повернути їх до життя.

У фільмі *Хлопці з Бразилії* сюжет розвивається довкола клонування Гітлера. Не варто, однак, сподіватися, що таким способом можна відродити геній чи скандальну славу будь-якої з історичних постатей. Один біолог зауважив: клонувавши Гітлера, ви, цілком імовірно, одержите лише доволі посереднього художника (ким, власне, й був Гітлер, доки не очолив нацистський рух).

## ПОЗБУДЕМОСЯ ВСІХ ХВОРОБ?

Пророчий фільм *Прийдешиє*, що ґрунтувався на романі Герберта Веллса, передбачав майбутнє цивілізації, в якому Друга світова війна започаткувала безкінечну низку страждань і бід. Усі досягнення людства зруйновано, зневіреним зубожілим народом правлять банди на чолі з військовими ватажками. Втім, наприкінці фільму група далекоглядних науковців, що володіє потужною суперзброєю, починає відновлювати порядок. Зрештою цивілізація знову піднімається з руїн.

В одному епізоді фільму дитині, яка вивчає жорстоку історію двадцятого сторіччя, розповідають про так звану застуду. “А що таке застуда?” – запитує дитина. Їй пояснюють, що застуда – це щось таке, що давним-давно вилікували.

Можливо, цього і не станеться.

Позбутися всіх хвороб споконвіку було заповітною мрією людства. Однак навіть до 2100 року науковцям не вдасться цього домогтися, оскільки збудники хвороб мутують швидше, ніж ми вчимося з ними боротися, і до того ж їх надто багато. Ми іноді забуваємо, що живемо в океані бактерій і вірусів, які існували за мільярди років до того, як на Землі з’явилась людина, й існуватимуть ще мільярди років після того, як *Homo sapiens* зникне.

Багато хвороб колись прийшли до людини від тварин. Це – та умовна ціна, яку нам довелося заплатити за одомашнення тварин, що почалося приблизно 10 000 років тому. У тваринах причаїлось чимало

хвороб, які, ймовірно, переживуть людський рід. У природних умовах від тварин заражається лише декілька людей. Проте з виникненням великих міст заразні хвороби швидко поширюються серед населення; коли число хворих сягає критичної маси, виникає пандемія.

Приміром, проаналізувавши генетичну послідовність вірусу грипу, науковці з подивом виявили, що той первинно походить від птахів. Багато птахів можуть бути носіями різних штамів вірусу грипу без жодної шкоди для себе. Але тоді до процесу долучаються свині – вони з'їдають пташиний послід і виконують функцію такого собі генетичного змішувача. Тим часом, фермери часто живуть поряд і з тими, і з іншими. Дехто припускає, що саме з цієї причини вірус грипу часто приходиться з Азії, оскільки тамтешні фермери зазвичай розводять різних тварин одночасно, тобто мешкають поряд і з качками, і зі свиньми.

Недавня епідемія грипу *H1N1* – це лише остання хвиля мутацій пташиного і свинячого грипу.

Одна проблема полягає в тому, що люди постійно освоюють нові території: вирубують ліси, будують передмістя й заводи і в процесі цього підхоплюють давні хвороби, що їх носять у собі тварини. Оскільки людство й надалі зростає кількісно, то нам варто сподіватися нових сюрпризів, які прийдуть до нас із лісів.

Наприклад, є достатньо генетичних доказів того, що вірус ВІЛ первинно з'явився як вірус імунodefіциту мавпи, який спершу інфікував приматів і лише згодом перекинувся на людину. Так само хантавірус уразив людей на південному заході США, коли ті вторглися на території степових гризунів. Хвороба Лайма, яку поширюють переважно кліщі, заповнила передмістя на північному сході Сполучених Штатів, тому що тепер люди будують будинки близько до лісу, де живуть кліщі. Вірус Ебола, ймовірно, уражав людські племена ще в давні часи, однак тільки з появою літаків він поширився на більші території й потрапив у заголовки газет. Навіть хвороба легіонерів, імовірно, існує віддавна і завжди поширювалась у стоячій воді, але саме завдяки системам кондиціонування повітря ця хвороба перекинулася на людей похилого віку на круїзних судах.

Це означає, що нас чекає ще чимало сюрпризів, і в заголовки газет потраплятимуть назви нових і нових екзотичних хвороб.

Прикро, але ліки від цих хвороб можуть з'являтися із запізненням.

Приміром, ми не маємо ліків навіть від звичайної застуди. Ті числен-

ні препарати від застуди, які можна побачити в кожній аптеці, лікують лише симптоми, а не вбивають сам вірус. Проблема полягає в тому, що риновірус, який спричиняє звичайну застуду, має понад 300 різновидів, і розробляти вакцину проти кожного з них просто занадто дороге.

Ситуація з ВІЛ набагато гірша, оскільки цей вірус може мати тисячі різних штамів. Щобільше, ВІЛ мутує так швидко, що навіть якби ви створили вакцину проти одного його різновиду, це нічого б не дало: вірус усе одно швидко б змінився. Розробляти вакцину проти ВІЛ – це наче намагатися вцілити у рухому мішень.

Отже, хоч у майбутньому ми й позбудемося багатьох хвороб, завжди, мабуть, будуть якісь хвороби, що не піддаватимуться нашим найдосконалішим методам лікування.

## ПРЕКРАСНИЙ НОВИЙ СВІТ

До 2100 року, коли ми здобудемо владу над своєю генетичною долею, нам доведеться порівняти наше життя з тією антиутопією, що її описав Олдос Гакслі у пророчому романі *Прекрасний новий світ*, дія якого відбувається 2540 року. Книжку опублікували 1932 року, і вона спричинила всезагальний шок і збентеження.

Однак сьогодні, через сімдесят п'ять років після появи цього роману, чимало з його пророцтв уже збулося. Гакслі шокував британське суспільство, написавши, що дітей вирощуватимуть у пробірках, що секс не матиме нічого спільного з продовженням роду і що вживання пігулок стане звичною справою, проте сьогодні ми живемо в світі, де запліднення в пробірці й протизаплідні пігулки сприймаються як належне. (Єдине істотне передбачення Гакслі, яке наразі не збулося, – це клонування людей.) Він описав ієрархічне суспільство, де лікарі навмисне клонують людські ембріони з пошкодженим мозком, з яких потім виростають слуги для панівної еліти. Залежно від ступеня ушкодження мозку ембріони поділяються на різні касты, починаючи від “альф”, що досконалі й призначені керувати, й закінчуючи “іпсилонами” – розумово відсталими рабами. Отже, замість того, щоб звільнити людство від злиднів, невігластва й хвороб, технології стали жахіттям, насадивши штучну й аморальну стабільність коштом поневолення всього населення.

Багато в чому цей роман виявився дивовижно точним, однак Гакслі не передбачив генної інженерії. Якби він знав про цю техноло-

гію, то, мабуть, його б турбувала ще й інша проблема: чи не розщепиться, бува, людський рід на окремі групи, якщо недолугі батьки й непорядні уряди почнуть маніпулювати генами наших дітей? Уже тепер деякі батьки надягають на своїх дітей неадекватне вбрання і змушують їх брати участь у різних дурнуватих конкурсах, то чом би їм не змінити й гени своїх чад відповідно до власних примх? Справді, батьки, мабуть, запрограмовані еволюцією на те, щоб дати своїм нащадкам усі можливі переваги, то чому не поліпшити і їхні гени?

Найпростіший приклад того, як прогресивна технологія може спровокувати зловживання, – це звичайна ультразвукова діагностика. Лікарі запровадили ультразвукову діагностику з найкращими намірами – щоб полегшити спостереження за перебігом вагітності, однак це призвело до масової епідемії абортів зародків жіночої статі, особливо в сільській місцевості Китаю та Індії. Одне дослідження, яке проводилось у Бомбеї, виявило, що у 7 997 з 8 000 абортів зародок був жіночої статі. У Південній Кореї 65 відсотків усіх третіх дітей у родині – хлопці. Покоління дітей, чий батьки вдавалися до цих статево зумовлених абортів, незабаром досягне шлюбного віку, і мільйони з них не зможуть знайти собі жінки. Це, своєю чергою, може спричинити величезний соціальний дисбаланс. Селяни, які хотіли мати тільки синів, щоб ті продовжили рід, виявлять, що внуків у них не буде.

Тим часом у Сполучених Штатах активно зловживають людським гормоном росту, який часто рекламують як засіб від старіння. Попервах людський гормон росту мав на меті скоригувати гормональні порушення в дітей, що відставали в рості. Натомість навколо цього гормону утворилась величезна підпільна індустрія, що ґрунтується на сумнівних даних стосовно старіння. Фактично, завдяки інтернету величезна кількість людей добровільно стала піддослідними кроликами для випробування псевдонаукових технологій.

Отже, люди схильні зловживати технологіями, якщо мають таку можливість, і створювати собі цим величезні проблеми. А що станеться, якщо вони одержать доступ до генної інженерії?

У найгіршому разі в нас може виникнути кошмар, схожий на той, що його описав Герберт Веллс у своєму класичному науково-фантастичному романі *Машина часу*, де людство 802 701 року від Різдва Христового поділене на два окремі види. Веллс писав: “По-ступово мені відкривалась істина: я зрозумів, що Людина розділилась на два окремі види; витончені діти Верхнього Світу не були єдиними

нащадками нашого покоління; це бридке білясте нічне створіння, що промайнуло переді мною, теж було нащадком попередніх віків”.

Аби зрозуміти, наскільки істотними можуть стати відмінності між людьми, просто подивіться на сучасного собаку. Сьогодні існують тисячі порід собак, однак усі вони походять від виду *Canis lupus* – сірого вовка, якого одомашнили приблизно 10 000 років тому, наприкінці останнього льодовикового періоду. Завдяки штучному добору, який здійснювали господарі-люди, собаки сьогодні бувають найрізноманітніших розмірів і форм. За допомогою штучного добору людині вдалося радикально змінити форму тіла, темперамент, масть і здібності собаки.

Оскільки собаки старішають у середньому в сім разів швидше за людей, то можна припустити, що від часу, коли собаки відділилися від вовків, минуло близько 1000 поколінь. Якщо застосувати цю математику до людини, то виявиться, що цілеспрямований штучний добір може поділити людство на тисячі різних порід лише за 70 000 років, хоча вони й надалі належатимуть до одного біологічного виду. За допомогою генної інженерії цей процес, імовірно, можна значно пришвидшити і навіть умістити в часові межі одного покоління.

На щастя, є підстави сподіватися, що людська раса не поділиться на окремі породи, принаймні у цьому сторіччі. У процесі еволюції один біологічний вид зазвичай розщеплюється надвоє тоді, коли географічно розділяється на дві окремі популяції. Так сталося, приміром, в Австралії, де фізична ізоляція багатьох біологічних видів від решти земної фауни призвела до виникнення тварин, яких немає більше ніде на Землі, як-от кенгуру та інші сумчасті. Людські ж популяції, на відміну від тваринних, дуже мобільні, не мають еволюційних “корків” і достатньо перемішані.

Грегорі Сток із Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі сказав: “Традиційна еволюція Дарвіна сьогодні не спричиняє в людині майже ніяких змін, і малоімовірно, що вона спричинятиме їх у близькому майбутньому. Людська популяція надто велика й перемішана, а еволюційний тиск надто локальний і тимчасовий”.<sup>31</sup>

З іншого боку, є деякі стримувальні чинники, що зумовлені Принципом печерної людини.

Як ми вже зазначали, люди часто відмовляються від технологічних інновацій (приміром, від “офісу без паперу”), якщо ті суперечать людській природі, яка впродовж минулих 100 000 років залишалась відносно незмінною. Можливо, люди не схочуть створювати



“дітей на замовлення”, які здаватимуться відхиленням від норми і з яких насміхатимуться ровесники. Адже це зменшить їхні шанси на успіх у суспільстві. Одна річ – надягати на дітей недоладний одяг, а зовсім інша – назавжди змінити їхню спадковість. (На вільному ринку, ймовірно, знайдеться місце і для незвичних генів, однак їх частка буде невелика, оскільки ринок керуватиметься споживчим попитом.) Найімовірніше, до кінця цього сторіччя подружжю пропонуватиметься на вибір ціла колекція генів, що здебільшого будуть призначені запобігати генетичним хворобам, однак серед них будуть і деякі гени для генетичного поліпшення. Утім, ринкових стимулів фінансувати дослідження незвичних генів буде небагато, оскільки попит на ці гени буде незначний.

Реальна загроза в цьому сенсі походить не від споживчого попиту, а від диктаторських режимів, яким може заманутися використати генну інженерію для власних цілей – приміром, для виховання сильніших, однак слухняніших солдатів.

Ще одна проблема може постати в далекому майбутньому, коли людство матиме колонії на інших планетах, де сила тяжіння й кліматичні умови істотно відрізняються від земних. На тому етапі, можливо, в наступному сторіччі, стане доцільно подумати про створення нової породи людей, які б могли пристосуватись до іншої сили тяжіння й інших атмосферних умов. Можливо, ці нові люди могли б споживати інший обсяг кисню, пристосуватись до іншої тривалості доби й мати іншу вагу та обмін речовин. Однак космічні подорожі ще довгий час коштуватимуть дорого. До кінця цього сторіччя ми, можливо, й матимемо якусь невеличку базу на Марсі, проте переважна більшість людей залишатимуться на Землі. В найближчі десятиріччя і навіть, напевно, сторіччя космічні подорожі будуть доступні лише астронавтам, заможним людям і, може, ще якійсь жменьці особливо витривалих ентузіастів, що прагнуть створити колонії в космосі.

Відтак людство не поділиться на різні космічні породи й не розселиться по різних планетах Сонячної системи чи за її межами ні в цьому сторіччі, ні, ймовірно, в наступному. У близькому майбутньому, за відсутності якихось епохальних проривів у космічних технологіях, ми здебільшого будемо й надалі прикуті до Землі.

Нарешті, є ще одна загроза, з якою людство може зіткнутися до 2100 року: генну інженерію можуть навмисне спрямувати проти нас у формі бактеріологічної війни.

## БАКТЕРІОЛОГІЧНА ВІЙНА

Бактеріологічна війна стара, як світ. У давнину воїни перекидали через мури ворожих міст трупи людей, що померли від заразних хвороб, і отруювали воду в криницях трупами тварин. Дати воїнам противника одяг, заражений віспою, – іще один давній спосіб, як їх подолати. Однак сучасні технології дають змогу генетично змодельовувати бактерії, які можуть винищити мільйони людей.

У 1972 році Сполучені Штати й колишній Радянський Союз підписали історичну угоду, що забороняла використовувати бактеріологічну зброю з наступальною метою. Проте сьогодні біоінженерні технології далеко просунулися вперед, і ця угода, по суті, втратила сенс.

По-перше, неможливо розмежувати наступальні й оборонні технології, коли мова йде про дослідження ДНК. Маніпулювати генами можна і з тією, й з іншою метою.

По-друге, генна інженерія дає змогу перетворювати мікроби на зброю, посилюючи їхню смертоносну дію або здатність поширюватися у середовищі. Колись уважалося, що Сполучені Штати й Росія володіють останніми пробірками зі збудником віспи – найбільшим убивцею в історії людства. У 1992 році один радянський перебіжчик заявив, що росіяни розробили бойовий штам віспи і навіть виготовили до 20 тон цього штаму. Із розпадом Радянського Союзу з'явився гнітючий страх, що колись терористи зможуть за гроші одержати доступ до цієї смертоносної зброї.

У 2005 році біологам удалося відновити вірус іспанського грипу, який 1918 року забрав більше життів, ніж Перша світова війна. Цікаво, що біологи реконструювали цей вірус, дослідивши тіло жінки, яка давно померла й була похована на Алясці, у вічній мерзлоті, а також зразки, взяті в американських солдатів під час тієї епідемії.

Дослідники розмістили повний геном іспанського грипу в інтернеті, і він став відомий усьому світові. Багато хто сумнівався в доцільності такого кроку, адже одного дня навіть студент, що має доступ до університетської лабораторії, зможе воскресити одного з найбільших убивць в історії людства.

На короткий час геном вірусу “іспанки” став для науковців справжньою знахідкою, бо вони нарешті змогли проаналізувати його гени й пояснити давню загадку: як малесенька мутація вірусу могла винищити таку масу людей? Відповідь знайшли швидко. Іспанський грип,

на відміну від інших різновидів, провокує надмірну реакцію імунної системи організму, і той починає виділяти велику кількість рідини, що зрештою вбиває хворого. Хворий буквально тоне у власних виділеннях. Коли це стало зрозуміло, гени, що спричиняють цей смертельний ефект, порівняли з генами вірусу *H1N1* та інших різновидів грипу. На щастя, в жодному з них цього смертоносного гену не виявили. Щобільше, тепер стало можливо обчислити, наскільки близько підійшов той чи інший вірус до набуття цієї небезпечної властивості, і з'ясувалось, що *H1N1* перебуває ще достатньо далеко від цього.

Однак якщо розглядати довшу перспективу, то цей поступ має й зворотний бік. Із кожним роком маніпулювати генами живих організмів стає дедалі легше. Вартість технологій падає, а інформація широко доступна в інтернеті.

Дехто з науковців вважає, що в найближчі кілька десятиріч винайдуть пристрій, який дасть змогу створювати будь-які гени, просто набираючи на клавіатурі відповідну послідовність пар основ. Наприклад, ви введете символи *A-T-C-G*, і пристрій автоматично скомбінує з компонентів ДНК потрібний ген. Якщо й справді так буде, то одного дня навіть школярі зможуть виконувати складні маніпуляції з формами життя.

Один апокаліптичний сценарій передбачає створення вірусу СНІДу, який може передаватися повітряно-крапельним шляхом. Приміром, віруси застуди мають кілька генів, що дають їм змогу існувати в крихітних крапельках аерозолі – тому, коли хворий чхає, від цього можуть заразитися інші. Сьогодні вірус СНІДу швидко гине, потрапляючи в зовнішнє середовище. Однак якщо гени вірусу застуди імплантувати у ВІЛ, то ймовірно, що й той теж зможе існувати поза межами людського тіла. В такому разі вірус СНІДу почне передаватися як звичайна застуда й інфікує значну частину людства. Відомо також, що віруси й бактерії іноді обмінюються генами, відтак існує можливість, що вірус застуди передасть гени вірусові СНІДу природним способом, хоч це й малоімовірно.

Може статися, що в майбутньому якийсь терористичне угруповання чи якась держава схоче перетворити СНІД на зброю. Єдине, що може стримати зловмисників, – це усвідомлення, що й вони самі теж загинуть, якщо вірус пошириться доквіллям.

Ця загроза стала реальною відразу після трагедії 11 вересня 2001 року. Якесь невідома особа розіслала поштою знаним політикам по всій країні пакети з білим порошком, що містив спори сибірської

виразки. Ретельне мікроскопічне дослідження цього порошку за-свідчило, що спори сибірки було модифіковано з метою посилення їхньої смертоносної дії. Раптом цілу країну охопив страх, що якийсь терористичне угруповання одержало доступ до сучасної біологічної зброї. Хоча спори сибірської виразки існують у ґрунті і трапляються майже всюди в природі, тільки людина з серйозною підготовкою і маніакальними нахилами була спроможна очистити й модифікувати сибірську виразку й реалізувати весь цей божевільний план.

Попри найактивніший розшук за всю історію США, винуватця не знайшли донині (щоправда, відомо, що головний підозрюваний нещодавно вчинив самогубство). Цей випадок свідчить, що навіть одна особа з достатньою біологічною освітою може залякати цілу державу.

Один стримувальний чинник, що досі не давав розгорнутись бактеріологічній війні, – це примітивний інстинкт самозбереження. У час Першої світової війни отруйні гази застосовували на полі бою, але їхня ефективність виявилась невеликою. Напряму вітру часто було неможливо передбачити, тож хмара газу могла повернутись до військ самого ініціатора. Військовий ефект від отруйних газів здебільшого зводився до залякування противника, радше ніж завдання йому реальної шкоди. Жодного вирішального бою не було виграно за допомогою отруйного газу. І навіть у пік холодної війни обидві сторони усвідомлювали, що застосування отруйних газів і біологічної зброї може мати непередбачувані наслідки і легко призвести до ядерного конфлікту.

Усі міркування, викладені в цьому розділі, торкалися маніпулювання генами, білками й молекулами. Відтак природно постає наступне запитання: наскільки можливо маніпулювати окремими атомами?

Наскільки я можу судити, принципи фізики не заперечують можливості створювати об'єкти з окремих атомів.

– РІЧАРД ФЕЙНМАН, ЛАУРЕАТ НОБЕЛІВСЬКОЇ ПРЕМІЇ

Нанотехнологія дала нам інструменти, щоб грати з найменшими структурними елементами природи – атомами й молекулами. Усе складається з них, і можливості створювати щось нове видаються безмежними.

– ГОРСТ ШТЪОРМЕР, ЛАУРЕАТ НОБЕЛІВСЬКОЇ ПРЕМІЇ

Значення безмежно малого безмежно велике.

– ЛУІ ПАСТЕР

## 4 НАНОТЕХНОЛОГІЇ

*Все з нічого?*

Опанування знарядь праці – найвище досягнення, що відрізняє людину від тварин. Згідно з античною міфологією, цей процес розпочався, коли Прометей, співчуваючи людям, викрав з печі Гефеста дорогоцінний вогонь. Цей вчинок розлютив богів. Аби покарати людей, Зевс удався до хитрощів. Він попросив Гефеста викувати з металу скриньку й гарну жінку. Гефест створив статую жінки, дав їй ім'я Пандора, оживив її чарами й наказав ніколи не відчиняти скриньки. Одного дня Пандора не витримала і з цікавості таки відчинила скриньку – і випустила звідти в світ усі вітри хаосу, лиха і страждання. У скриньці залишилась тільки надія.

Отже, з божественної печі Гефеста вийшли і мрії, і страждання людства. Сьогодні ми розробляємо кардинально нові пристрої, що мають стати найдосконалішими знаряддями, “скутими” з окремих атомів. Однак невідомо, що вони нам принесуть: вогонь просвітлення й знання чи вітри хаосу.

Упродовж усієї історії доля людства залежала від володіння знаряддями праці. Коли багато тисячоліть тому люди винайшли лук і стріли, це означало, що тепер вони зможуть метати зброю на значно дальшу відстань, ніж раніше; в результаті полювання стало ефек-

тивнішим і їжі стало більше. Коли близько 7000 років тому люди навчилися обробляти метал, це означало, що з часом вони зможуть змінити земляні й солом'яні халупи на чудові будинки, що височітимуть над землею. Незабаром на місці лісів і пустель постали імперії, збудовані металевими знаряддями.

А сьогодні ми впритул наблизились до опанування ще одного типу знарядь, набагато потужнішого за все, що було досі. Цього разу ми маємо здобути владу над самими атомами, з яких створено все. Можливо, ще до кінця цього сторіччя ми заволдіємо найважливішим знаряддям, яке тільки можна уявити, – нанотехнологіями, що дадуть нам змогу маніпулювати окремими атомами. Це може спричинити другу промислову революцію, оскільки молекулярне виробництво створить нові матеріали, про які сьогодні ми можемо хіба що мріяти, – надміцні, надлегкі, з дивовижними електричними й магнітними властивостями.

Нобелівський лауреат Річард Смоллі сказав: “Найбільша мрія нанотехнології – навчитися будувати з атомів, як із цеглинок”.<sup>1</sup> Філіп Кукес із компанії *Hewlett-Packard* зауважив: “Зрештою, мета полягає не в тому, щоб створити комп'ютер завбільшки з порошинку. Треба навчитися робити прості комп'ютери завбільшки з бактерію. Тоді щось таке потужне, як ваш настільний комп'ютер, можна було б зменшити до розмірів порошинки”.<sup>2</sup>

Це не просто надії якихось наївних мрійників. Уряд США ставиться до цього серйозно. З уваги на величезний потенціал нанотехнологій у медичній, промисловій, авіаційній та комерційній галузях, 2009 року уряд виділив 1,5 мільярда доларів на дослідження в межах програми *Національна нанотехнологічна ініціатива*. У доповіді Національного наукового фонду, присвяченій нанотехнологіям, сказано: “Нанотехнології можуть у перспективі підвищити ефективність людської праці, забезпечити стабільне поліпшення якості матеріалів, води, енергії та їжі, захистити від невідомих бактерій і вірусів...”<sup>3</sup>

Може статися, що стан світової економіки і доля цілих країн урешті-решт залежатимуть від нанотехнологій. Близько 2020 року чи невдовзі опісля в дії закону Мура з'являться перебої, а згодом, мабуть, він і зовсім перестане діяти. Світовій економіці загрожуватиме хаос, якщо фізики не знайдуть відповідної заміни для кремнієвих транзисторів, на яких ґрунтуються наші комп'ютери. Розв'язок цієї проблеми може знайтися у сфері нанотехнологій.

Крім того, ймовірно, за допомогою нанотехнологій нам вдасться ще до кінця цього сторіччя створити пристрій, яким можуть володіти лише боги, – пристрій, який може створити будь-що майже з нічого.

## КВАНТОВИЙ СВІТ

Першим, хто привернув увагу наукової спільноти до цієї нової галузі фізики, був нобелівський лауреат Річард Фейнман, який поставив оманливо просте запитання: Наскільки малим можна зробити пристрій? Це запитання не було риторичним. Комп'ютери поступово ставали дедалі менші, змінюючи профіль промисловості, і вже ставало очевидно, що відповідь на це запитання може істотно вплинути на суспільство й економіку.

У пророчій лекції-доповіді *Внизу достатньо місця*, з якою Фейнман виступив 1959 року перед Американським фізичним товариством, він сказав: “Цікаво те, що фізик, у принципі, міг би (як я думаю) синтезувати будь-яку хімічну речовину на основі її хімічної формули. Хімік може дати вказівки, а фізик виконає синтез. Як? Просто розташуйте атоми так, як скаже хімік, – і одержите потрібну речовину”. Фейнман дійшов висновку, що пристрої з окремих атомів можливі, однак нові закони фізики ускладнять (але не унеможливлять) їх створення.

Отже, доля світової економіки й багатьох країн може врешті-решт залежати від дивних і парадоксальних принципів квантової теорії. Ми звикли вважати, що закони фізики не змінюються, коли ми переходимо до менших масштабів. Утім, це не так. Із фільмів на кшталт *Люба, я зменшив дітей* і *Людина, що неймовірно зменшується* глядач одержує хибне уявлення, що мініатюрні люди відчували б закони фізики так само, як ми. Приміром, в одній зі сцен діснеївського фільму зменшені герої під час грози їдуть на мурасі. Краплі дощу падають на землю, утворюючи крихітні калюжі – точнісінько як у нашому світі. Насправді ж краплі дощу можуть бути більшими за мураха. Якщо мураха наткнеться на краплю дощу, то побачить перед собою величезну водяну півкулю. Ця півкуля не розтікається, тому що поверхневий натяг утримує її, наче сітка. У нашому світі поверхневий натяг води доволі незначний, і ми його не зауважуємо. Однак у масштабі мурахи поверхневий натяг пропорційно збільшується, і краплі дощу згортаються в кульки.

(Щобільше, якби ви спробували пропорційно збільшити мурашу, щоб вона стала завбільшки з будинок, то виникла б інша проблема: її лапки зламалися б. При збільшенні мурахи її вага зростає значно швидше, ніж сила її лапок. Якщо збільшити мурашу в 10 разів, то її об'єм, а отже, й вага, збільшилися б у  $10 \times 10 \times 10 = 1000$  разів. Однак сила мурахи залежить від товщини м'язів, відтак вона зросла б лише у  $10 \times 10 = 100$  разів. Отже, гігантська мураха була б у 10 разів слабкіша за звичайну мурашу. А ще це означає, що Кінг-Конг замість того, щоб тероризувати Нью-Йорк, просто звалився б без сил, спробувавши видертись на Емпайр-Стейт-білдінг.)

Фейнман зауважив, що на атомному рівні домінують інші сили – такі, як водневий зв'язок і сили Ван дер Ваальса, зумовлені електричною взаємодією між атомами й молекулами. Чимало фізичних властивостей речовин визначаються цими силами.

(Аби продемонструвати це явище на наочному прикладі, проаналізуємо просте питання: чому на північному сході США на автомагістралях стільки вибоїн? Щозими вода затікає у крихітні тріщинки в асфальті й, замерзаючи, розширюється; асфальт руйнується, і утворюється яма. Однак думка, що при замерзанні вода розширюється, суперечить здоровому глуздові. Втім, вода й справді розширюється завдяки водневому зв'язку. Молекула води формою нагадує літеру V, при тому атом кисню розташований у її основі. Молекула води має слабкий негативний заряд в основі і позитивний – угорі. Тож коли вода замерзає, її молекули розходяться, утворюючи кристалічну ґратку, і між ними залишається порожній простір. Молекули води розташовуються як шестикутники. Замерзаючи, вода збільшується в об'ємі, бо в шестикутнику, що описує структуру льоду, більша відстань між атомами. З цієї ж причини сніжинки мають симетрію шостого порядку, а крига плаває по поверхні води, хоча, за логікою, мала б тонути.)

## ЧИ МОЖЛИВО ПРОХОДИТИ КРІЗЬ СТІНИ?

На додачу до поверхневого натягу, водневого зв'язку і сил Ван дер Ваальса на атомному рівні існують ще й чудернацькі квантові ефекти. Зазвичай у повсякденному житті ми не бачимо, як діють квантові сили. Однак насправді вони є всюди. Приміром, оскільки атоми всередині здебільшого порожні, то, за логікою, ми мали б легко проходити крізь стіни. Між ядром у центрі атома й електронними



оболонками є тільки вакуум. Якби атом був завбільшки з футбольний стадіон, то цей стадіон був би порожній, оскільки ядро було б приблизно завбільшки з піщинку.

(Ми іноді дивуємо наших студентів однією простою демонстрацією. Ставимо перед студентом лічильник Гейгера, а за спиною в нього кладемо нешкідливу дрібку якоїсь радіоактивної речовини. Студентів вражає, що деякі частинки проходять просто крізь їхнє тіло й фіксуються на лічильнику, так начебто це тіло було здебільшого порожнє, як воно насправді і є.)

Однак якщо ми здебільшого порожні, то чому не можемо проходити крізь стіни? У фільмі *Привид* герой Патріка Свейзі гине й перетворюється на привида. Він неодноразово намагається доторкнутись до своєї колишньої нареченої, роль якої виконує Демі Мур, але йому це не вдається. Його руки проходять крізь звичну матерію, він виявляє, що більше не має матеріальної субстанції і просто пропливає крізь тверді об'єкти. В одній сцені він устромляє голову в вагон метро. Поїзд мчить мимо, голова героя стримить усередині, однак він нічого не відчуває. (У фільмі не пояснено, чому сила тяжіння не змушує привида провалитися крізь підлогу і впасти аж до центру Землі. Складається враження, що привиди можуть проходити крізь усе, що завгодно, крім підлоги.)

То чому ж ми не можемо проходити крізь тверді об'єкти, як привиди? Пояснення криється в одному цікавому квантовому явищі. Згідно з принципом заборони Паулі, в одній квантовій системі два електрони не можуть існувати в тому самому квантовому стані. Відтак, коли два майже ідентичні електрони опиняються надто близько, вони відштовхуються один від одного. Саме тому об'єкти видаються нам твердими, що насправді – ілюзія. В дійсності матерія, по суті, порожня.

Сідаючи на стілець, ми думаємо, що торкаємось його. Насправді ж ми висимо над стільцем, менше ніж за нанометр від його поверхні, бо нас відштовхують електричні й квантові сили стільця. Це означає, що всякий раз, коли ми “торкаємось” чогось, насправді прямого контакту не відбувається, йому запобігають атомні сили. (Це також означає, що якби ми зуміли якось нейтралізувати принцип заборони, то, можливо, змогли б проходити крізь стіни. Однак ніхто не знає, як це зробити.)

Квантова теорія не тільки не дає атомам зіштовхуватись одне з одним, а й зв'язує їх до купи в молекули. Уявіть на хвильку, що

атом – це крихітна зоряна система, де планети кружляють довкола зірки. Отже, якби дві такі зоряні системи зіштовхнулися, то планети або розтрошилися б одна об одну, або розлетілися б навсібіч, і систем би не стало. Зоряні системи ніколи не залишаються стабільними, зіштовхнувшись одна з одною, отже, атоми так само від зіткнення мали б руйнуватися.

У дійсності, коли два атоми опиняються дуже близько, вони або відскакують один від одного, або об'єднуються в стабільну молекулу. Атоми можуть утворювати стабільні молекули тому, що електрони можуть одночасно належати двом атомам. З погляду здорового глузду така ідея видається абсурдною. Якби електрони підпорядковувались законам Ньютона, це було б неможливо. Однак, згідно з принципом невизначеності Гайзенберга, ми не можемо точно знати, де перебуває електрон. Натомість електрон “розмазаний” між двома атомами, що й тримає їх укупі.

Іншими словами, якщо “вимкнути” квантову теорію, то ваші молекули розпадуться від зіткнення між собою й ви просто перетворитеся на газ з елементарних частинок. Саме квантова теорія пояснює, чому атоми можуть зв'язуватися між собою й утворювати тверду матерію, а не розпадаються на складові.

(З цієї ж причини не можуть існувати світи всередині інших світів. Дехто уявляє, що, можливо, наша Сонячна система чи й ціла галактика – лише атом у якомусь іншому велетенському всесвіті. Саме це з'ясовується в останньому епізоді фільму *Люди в чорному*: виявляється, що весь відомий Всесвіт – це просто атом у кульці, якою бавиться якийсь прибулець. Однак з погляду фізики це неможливо, оскільки при зміні масштабу закони фізики теж змінюються. Закони, яким підпорядковуються атоми, абсолютно відмінні від законів, яким підпорядковуються галактики.)

Ось деякі приголомшливі принципи квантової теорії:

- неможливо знати точно і швидкість, і місце перебування будь-якої частинки – завжди існує невизначеність;
- частинки можуть у деякому сенсі перебувати в двох місцях одночасно;
- усі частинки існують як суміш різних станів одночасно; приміром, частинки, що обертаються, можуть бути сумішшю частинок зі спіном угору і вниз одночасно;
- ви можете зникнути і з'явитися десь в іншому місці.

Усі ці твердження здаються сміховинними. Сам Айнштайн казав: “Чим успішнішою стає квантова теорія, тим дурнішою вона здається”. Ніхто не знає, звідки беруться такі чудернацькі закони. Вони існують просто як постулати, без жодних пояснень. Є лише один аргумент на користь квантової теорії: вона правильна. Її точність виміряли до однієї десятиміліярдної частки, і це означає, що квантова теорія – найуспішніша фізична теорія за всі часи.

Причина, чому ми не спостерігаємо цих неймовірних явищ у повсякденному житті, полягає в тому, що ми складаємося з багатьох трильйонів атомів, і квантові ефекти, в якомусь сенсі, усереднюються.

### ЧИ МОЖЛИВО ПЕРЕМІЩАТИ ОКРЕМІ АТОМИ?

Річард Фейнман мріяв про день, коли фізик зможе сконструювати будь-яку молекулу, атом за атомом. Тоді, 1959 року, це здавалося неможливим, однак сьогодні ця мрія частково здійснилася.

Я мав нагоду спостерігати за цим особисто під час відвідин дослідницького центру компанії *IBM* у Сан-Хосе, штат Каліфорнія. Я приїхав, аби подивитися на один чудовий пристрій – тунельний скануючий мікроскоп, який дає змогу науковцям бачити й переміщати окремі атоми. Цей пристрій винайшли Герд Бінніг і Гайнріх Рорер з *IBM*, за що 1986 року одержали Нобелівську премію. (Пригадую, коли я вчився в школі, вчитель нам казав, що ми ніколи не зможемо побачити атомів. Вони просто занадто малі, пояснював він. До того часу я вже вирішив, що стану науковцем-атомником. Я зрозумів, що ціле життя досліджуватиму те, чого ніколи не зможу побачити на власні очі. Проте сьогодні ми можемо не тільки бачити атоми, а й навіть бавитися ними за допомогою атомного пінцета.)

Тунельний скануючий мікроскоп – це насправді зовсім не мікроскоп. Зовні він нагадує старий грамофон. Тонкий шуп (на кінчику його діаметр становить лише один атом) повільно проходить над поверхнею матеріалу, який є об’єктом аналізу. Зі шупа крізь матеріал до бази пристрою йде слабкий струм. Щоразу, як вістря шупа проходить над атомом, сила струму злегка змінюється. Після кількох таких проходів пристрій друкує дивовижну річ – обриси самого атома. За допомогою ідентичного шупа цей мікроскоп може не просто реєструвати атоми, а й переміщати їх. Таким способом можна складати з атомів літери – наприклад, *IBM* – і навіть конструювати якісь примітивні пристрої.

(Інший недавній винахід – атомний силовий мікроскоп, що створює дивовижні тривимірні зображення атомної ґратки. В атомному силовому мікроскопі теж використано щуп із дуже тонким вістря, але на це вістря спрямовано лазерний промінь. Проходячи над досліджуваним матеріалом, щуп піднімається й опускається від взаємодії з атомами поверхні, і ці рухи реєструються за допомогою лазерного променя і матричного фотодетектора.)

Я виявив, що переміщати окремі атоми зовсім не складно. Я сидів перед комп'ютерним екраном і бачив на ньому білі кульки діаметром приблизно з дюйм, схожі на м'ячики для пінг-понгу. По суті, кожна кулька означала окремий атом. Я вибрав курсором один із атомів і пересунув курсор в інше місце. Тоді натиснув клавішу, яка активувала щуп, аби той перемістив зазначений атом. Після цього мікроскоп просканував матеріал іще раз. Картина на екрані змінилася: я побачив, що кулька перемістилась точнісінько туди, куди я визначив.

Аби перемістити будь-який атом куди завгодно, достатньо було однієї хвилини. За якихось півгодини я зрозумів, що можу вже скласти на екрані з окремих атомів деякі літери. За годину я вже вмів складати доволі складні візерунки, що містили близько десяти атомів.

Я мусив оговтатись від усвідомлення, що я справді пересував окремі атоми – адже колись це вважалось абсолютно неможливим.

## МЕМИ І НАНОЧАСТИНКИ

Хоча сьогодні нанотехнології ще перебувають на початковій стадії розвитку, вони вже породили динамічну комерційну галузь – хімічні покриття. Якщо нанести методом розпилення на той чи інший комерційний продукт тонкий шар відповідної хімічної речовини – завтовшки лише кілька молекул, – то можна зробити цей продукт стійкішим до ржавіння або ж змінити його оптичні властивості. Сьогодні вже існують різні види такого покриття: воно може захищати одяг від плям, поліпшувати екрани комп'ютерів, зміцнювати металорізальні інструменти й захищати поверхні від подряпин. У найближчі роки на ринку з'являтимуться нові й нові товари з мікропокриттям, яке поліпшуватиме їхні властивості.

Загалом нанотехнології – це дуже молода галузь науки. Проте один її аспект уже починає впливати на життя кожної людини, і на його основі вже виросла успішна світова індустрія з річним оборо-

том 40 мільярдів доларів. Ідеться про мікроелектромеханічні системи (МЕМі), що охоплюють найрізноманітніші речі – від струменевих картриджів, сенсорів для подушок безпеки і дисплеїв до гіроскопів для автомобілів і літаків. МЕМі – це крихітні пристрої; вони такі маленькі, що легко можуть уміститися на вістрі голки.\* Їх виготовляють за допомогою тих самих методів фотолітографії, що й комп'ютерні чіпи. Замість того, щоб витравлювати транзистори, інженери витравлюють крихітні механічні компоненти і створюють такі малі деталі, що побачити їх можна тільки в мікроскоп.

У 2000 році науковці в цюрихській дослідницькій лабораторії *IBM* створили атомну версію рахівниці, маніпулюючи окремими атомами за допомогою тунельного скануючого мікроскопа. Замість дерев'яних кісточок, які пересуваються по дротах у звичайній рахівниці, в атомній використали бакіболи – молекули, що складаються суто з атомів вуглецю і мають форму, подібну до футбольного м'яча, у 5000 разів меншого за товщину людської волосини.

У Корнелльському університеті науковці навіть створили атомну гітару. Вона має шість струн, кожна товщиною лише 100 атомів. Якщо покласти в ряд двадцять таких гітар, то вони вмістяться б у діаметр людської волосини. Ця гітара справжня, зі справжніми струнами, які можна перебирати (однак звук цієї атомної гітари надто високий і невловимий для людського вуха).

Утім, найширше цю технологію сьогодні застосовують в автомобільних подушках безпеки, що містять крихітні акселерометри-МЕМі, які можуть відчувати різке гальмування вашого авта. Акселерометр-МЕМ складається з мікроскопічної кульки, що прикріплена до пружинки або важеля. Якщо ви різко гальмуєте, це змушує кульку хитнутися, і від її руху утворюється маленький електричний заряд. Він слугує детонатором для хімічного вибуху, при якому за 1/25 частку секунди вивільняється великий обсяг азоту. Ця технологія вже врятувала тисячі життів.

\* На сьогодні вже існують пристрої, зменшені до нанометрових розмірів, тобто наноелектромеханічні системи (НЕМС). – *Прим. наук. ред.*

## БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)

### НАНОПРИСТРОЇ В НАШОМУ ТІЛІ

У близькому майбутньому варто очікувати появи нових різновидів нанопристроїв, що можуть здійснити революцію в медицині, – зокрема таких, які курсуватимуть нашою системою кровообігу. У фільмі *Фантастична подорож* команда лікарів-науковців разом із підводним човном зменшується до розмірів червоного кров'яного тільця. Вони вирушають у подорож кровоносними судинами й мозком пацієнта і переживають у його тілі низку небезпечних пригод. Одне з завдань нанотехнології – створити молекулярних “мисливців”, які б полювали на ракові клітини й обережно їх знищували, не пошкоджуючи при цьому здорових клітин. Письменники-фантасти віддавна мріють про молекулярний апарат, який би курсував у крові людини, постійно вистежуючи ракові клітини. Критики колись уважали, що це неможливо, й називали такі ідеї пустими мріяннями фантастів.

Сьогодні ці мрії частково реалізуються. У 1992 році Джером Шентаг з Університету Буффало винайшов “розумну таблетку”, про яку ми згадували раніше, – крихітний інструмент завбільшки з таблетку, який пацієнт ковтає і за рухом якого можна стежити за допомогою електронного пристрою. Цій таблетці можна дати команду доправити ліки в потрібне місце. Сьогодні вже створено “розумні таблетки”, що містять телекамеру й можуть фотографувати зсередини шлунок і кишківник пацієнта. Керувати цими таблетками можна за допомогою магнітів. Таким способом можна виявляти пухлини й поліпи. Ймовірно, в майбутньому за допомогою таких “розумних таблеток” виконуватимуть невеликі хірургічні операції – усуватимуть аномалії і братимуть проби на біопсію зсередини, не розтинаючи шкіри.

Значно менший пристрій – наночастинка, тобто велика молекула, що здатна доправити протиракові ліки до конкретної мішені; це може здійснити революцію в лікуванні раку. Наночастинки можна порівняти з такими собі молекулярними “розумними бомбами”, чиє завдання – влучити хімічним вантажем у конкретну ціль, істотно зменшивши таким чином побічні ефекти терапії. Якщо “дурна” бомба нищить усе, в тому числі здорові клітини, то “розумні бомби” діють вибірково і влучають тільки в ракові клітини.

Усяк, кому довелося пережити жахливі побічні ефекти хіміотерапії, зрозуміє, якою великою мірою ці наночастинки можуть полегшити людські страждання. Хіміотерапія промиває весь організм небезпечними токсинами, вбиваючи ракові клітини лише трошки ефективніше, ніж усі інші. Хіміотерапія завдає організму величезної шкоди. Її побічні ефекти – нудота, випадання волосся, загальна слабкість тощо – настільки важкі, що деякі хворі воліють радше вмерти від раку, аніж піддаватися таким тортурам.

Наночастинки можуть усе змінити. Ліки – зокрема протиракові – вміщатимуть усередину молекули, що має форму капсули. Тоді наночастинку вводять у кровообіг хворого, вона знаходить конкретне місце призначення і там випускає ліки.

Важлива особливість цих наночастинок – їхній розмір: від 10 до 100 нанометрів.<sup>4</sup> Вони завеликі, щоб проникати в клітини крові, і тому просто відскакуватимуть від здорових клітин. Тим часом ракові клітини інакші: їхні стінки всіяні великими нерівними порами. Відтак наночастинки можуть легко заходити всередину ракових клітин і випускати там ліки, не зачіпаючи при цьому здорових клітин. Тому лікарям не потрібні складні системи керування, щоб привести наночастинки до місця призначення: ті автоматично акумулюватимуться в конкретних типах злоякісних пухлин.

Краса цієї терапії полягає в тому, що вона не потребує складних і небезпечних процедур, які можуть мати серйозні побічні ефекти. Наночастинки просто мають відповідний розмір – вони надто великі, щоб атакувати здорові клітини, але якраз нормальні, щоб проникати всередину ракових клітин.

Ще один приклад – наночастинки, що їх виготовили науковці компанії *BIND Biosciences* в Кембріджі, штат Массачусетс. Ці наночастинки створені з полімолочної кислоти і кополімолочної кислоти/гліколевої кислоти; вони можуть утримувати ліки всередині молекулярної сітки. Відтак ліки стають “корисним вантажем” такої наночастинки. Навігатором для неї слугують пептиди, що її вкривають; вони чіпляються саме до клітини-мішені.

У цьому проекті найцікавіше те, що ці наночастинки формуються самі, без складних заводів чи хімічних комбінатів. Потрібні хімічні складники змішують повільно, у належній послідовності і в строго відповідних умовах – і наночастинки складаються самі.

“Оскільки таке самотворення не потребує багатьох складних хімічних процедур, ці наночастинки дуже легко виготовляти... І ми

можемо їх виготовляти кілограмами, чого ще не робив ніхто,” – каже Омід Фарохзад із компанії *BIND*, медик, що викладає в Гарвардській медичній школі.<sup>5</sup> Ці наночастинки вже довели свою ефективність у лікуванні раку простати, грудей і легень – у дослідах на щурах. За допомогою барвників можна пересвідчитись, що ці наночастинки акумулюються саме в потрібному органі, вивільняючи свій “корисний вантаж” так, як заплановано. Через кілька років розпочнуться клінічні випробування на людях.

## ЗНИЩЕННЯ РАКОВИХ КЛІТИН

Наночастинки можуть не лише знаходити ракові клітини й доправляти до них хімічні речовини, призначені їх убити, – ймовірно, вони зможуть і просто вбивати ці клітини на місці. Принцип тут простий. Наночастинки здатні поглинати світло конкретної частоти. Якщо спрямувати на них лазерний промінь, то вони нагріваються або починають вібрувати, розриваючи оболонки всіх ракових клітин навколо себе й цим знищуючи їх. Отже, завдання полягає в тому, щоб наблизити ці наночастинки до ракових клітин на потрібну відстань.

Декілька груп науковців уже створили перші прототипи. Науковці в Аргонській національній лабораторії і Чиказькому університеті розробили наночастинки з двоокису титану (двоокис титану – широковживана хімічна речовина, що міститься, зокрема, в сонцезахисних кремах). Ці науковці виявили, що такі наночастинки можна приєднати до антитіла, яке природним способом шукає в організмі конкретні ракові клітини з назвою мультиформна гліобластома. Отже, наночастинки “під’їжджають” до ракових клітин на цих антитілах. Тоді на п’ять хвилин умикається біле світло, ракові клітини нагріваються і зрештою гинуть. Дослідження свідчать, що таким способом можна знищити 80 відсотків ракових клітин.

Ця група науковців розробила й інший спосіб, як можна вбивати ракові клітини. Вони створили крихітні магнітні диски, що можуть сильно вібрувати. Якщо наблизити ці диски до ракових клітин і пустити крізь них слабке зовнішнє магнітне поле, то вони починають вібрувати й розривають стінки ракових клітин. У тестах за 10 хвилин вібрації було вбито 90 відсотків ракових клітин.

Цей результат – не випадковий успіх. Науковці в Каліфорнійському університеті в Санта-Круз розробили схожу систему з використанням



золотих наночастинок. Ці частинки мають у розрізі лише 20-70 нанометрів і розташовані у формі сфери завтовшки лише кілька атомів. Науковці використали певний пептид, який, як відомо, притягується до ракових клітин шкіри. У дослідах на мишах цей пептид з'єднували з золотими наночастинками, і він транспортував їх до ракових клітин шкіри. Тоді на ці наночастинки світили інфрачервоним лазером, вони нагрівали клітини пухлини й знищували їх. “Це, по суті, те саме, що покласти ракову клітину в окріп і зварити. Чим більше тепла генерують ці металеві наносфери, тим краще,” – каже Цзінь Чжан, один із дослідників.<sup>6</sup>

Отже, в майбутньому за допомогою нанотехнологій ми зможемо виявляти колонії ракових клітин за багато років до того, як із них утвориться пухлина, а наночастинки, що циркулюватимуть у нас у крові, знищуватимуть їх. Основи цих технологій розробляють уже сьогодні.

## НАНОАВТОМОБІЛІ В НАШІЙ КРОВІ

На крок далі від наночастинки перебуває наноавтомобіль – пристрій, яким можна по-справжньому керувати, коли той перебуває всередині тіла. Наночастинки самостійно циркулюють у крові; тим часом наноавтомобілі радше схожі на роботів з дистанційним керуванням.

Джеймс Тур і його колеги в Університеті Райса створили такий наноавтомобіль. Замість коліс він має чотири бакіболи. Одне з майбутніх завдань цього проекту – створити наноавтомобіль, який би “возив” системою кровообігу крихітного робота, знищуючи таким чином ракові клітини й доправляючи потрібні ліки до точно визначених місць у тілі.

Однак є одна проблема – такий молекулярний автомобіль не має двигуна. Науковці створюють дедалі складніші молекулярні пристрої, але створити молекулярне джерело живлення поки що не вдалося нікому. Матінка Природа розв’язала цю задачу за допомогою молекули аденозинтрифосфату (АТФ), яка слугує джерелом енергії для всіх живих істот. Саме завдяки енергії АТФ на Землі існує життя; молекули цієї речовини щосекунди живлять енергією наші м’язи. Енергія АТФ зумовлена її внутрішніми атомними зв’язками. Однак створити синтетичний відповідник молекули АТФ виявилось складно.

Томас Маллук і Аюсман Сен з Університету штату Пенсильванія знайшли потенційний розв’язок цієї задачі. Вони створили наноавтомобіль, що може рухатися зі швидкістю кілька десятків мікронів за секунду – саме з такою швидкістю рухається більшість бактерій.

(Спочатку вони створили із золота й платини нанострижень завбільшки з бактерію. Цей нанострижень умістили у водний розчин пероксиду водню. Від цього на обох кінцях стрижня почалась хімічна реакція, в результаті якої протони почали рухатися від одного кінця до іншого. Протони штовхають електричні заряди молекул води, і це просуває нанострижень уперед. Нанострижень рухатиметься доти, доки у воді буде пероксид водню.)

Керувати такими нанострижнями можна також за допомогою магнітів. Науковці вмонтували всередину нанострижнів нікелеві диски, і нанострижні почали поводитись як стрілки компаса. За допомогою звичайного сувенірного магнітика такі нанострижні можна пересувати як завгодно.

Іще один спосіб, як можна керувати молекулярним пристроєм, – за допомогою ліхтарика.<sup>7</sup> Світло може розкладати молекули на позитивні й негативні іони. Ці два типи іонів дифундують крізь середовище з різною швидкістю, утворюючи електричне поле, яке, своєю чергою, притягує молекулярні пристрої. Отже, спрямувавши світло ліхтарика в конкретне місце, можна змусити молекулярні пристрої рухатися в тому напрямку.

Я бачив щось схоже під час відвідин лабораторії Сільвена Мартеля в Політехнічній школі Монреаля. Його ідея полягала в тому, щоб рухати крихітний чіп у кровоплинні за допомогою джгутиків звичайних бактерій. Досі науковцям не вдалося сконструювати атомний двигун на кшталт того, що міститься в джгутиках бактерій. Мартель запитав себе: якщо нанотехнологія не може створити таких крихітних джгутиків, то чому не використати джгутики живих бактерій?

Насамперед Мартель створив комп'ютерний чіп, менший за крапку в кінці цього речення. Тоді виростив групу бактерій і розташував приблизно вісімдесят із них позаду чіпа, так що ці бактерії виконували роль пропелера і штовхали чіп уперед. Оскільки бактерії були злегка намагнічені, Мартель міг за допомогою зовнішніх магнітів скерувати їх куди завгодно.

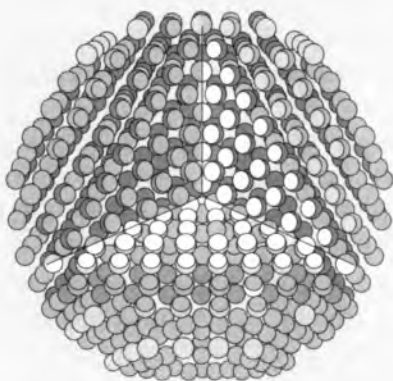
Я мав нагоду покерувати цими бактеріями особисто. Я дивився в мікроскоп і бачив малесенький комп'ютерний чіп, який штовхало декілька бактерій. Коли я натискав на кнопку, вмикався магніт і чіп рухався в певному напрямку. Коли я відпускав кнопку, чіп зупинявся, а тоді починав рухатися хаотично. Таким способом я справді керував цим чіпом. І усвідомлював, що одного дня якийсь лікар, можливо, натискатиме на схожу кнопку і так керуватиме нанороботом у венах пацієнта.

## Наночастинки

Хімічні поперечні зв'язки



Електрохімічні поперечні зв'язки



Молекулярні роботи контролюватимуть стан нашої крові, визначаючи і знищуючи ракові клітини й патогенні мікроорганізми. *Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)*

Можна уявити майбутнє, коли хірургію повністю замінять молекулярні пристрої, що курсуватимуть системою кровообігу, керовані магнітами, зупинятимуться на хворому органі й там випускатимуть ліки або ж робитимуть операцію. З такими технологіями розрізати шкіру більше не буде потреби. Приміром, за допомогою магнітів ці нанопристрої можна було би привести до серця пацієнта, щоб вони розблокували артерії.

## ДНК-ЧІПИ

Як ми вже згадували в третьому розділі, в майбутньому в нашому одязі, тілі і ванній кімнаті будуть крихітні чіпи, що постійно стежитимуть за нашим здоров'ям і виявлятимуть такі хвороби, як рак, за кілька років до того, як вони стануть небезпечні. Ключ до цього – ДНК-чіп, що обіцяє стати справжньою “лабораторією на чіпі”. Як трикодер із *Зоряного шляху*, ці малесенькі сенсори ставитимуть медичний діагноз за лічені хвилини.

Сьогодні діагностування раку – довгий, дорогий і трудомісткий процес, що часто розтягується на кілька тижнів. Це істотно обмежує кількість пацієнтів, яких можна оглянути. Втім, комп'ютерні технології змінюють цю ситуацію. Вже сьогодні науковці створюють пристрої, які можуть швидко й дешево виявити рак на підставі конкретних біомаркерів, що їх створюють ракові клітини.

Тим самим методом фотолітографії, яким на комп'ютерних чіпах витравлюють транзистори, можна створити чіп з мікроскопічними ділянками, що зможуть виявляти конкретні ДНК-послідовності чи ракові клітини.

Методом фотолітографії на чіпі витравлюють фрагменти ДНК. Коли на цей чіп потрапляє рідина, ці фрагменти зв'язуються з відповідними генними послідовностями з цієї рідини. Тоді за допомогою лазерного променя можна швидко просканувати всю ділянку й визначити, що це конкретно за гени. Таким чином, гени вже не доводиться зчитувати по одному, як раніше, а можна сканувати тисячами одночасно.

У 1997 році компанія *Affymetrix* випустила на ринок перший комерційний ДНК-чіп, що міг швидко проаналізувати 50 000 ДНК-послідовностей. До 2000 року за кілька тисяч доларів можна було зробити 400 000 ДНК-проб. До 2002 року ціна впала до 200 доларів за навіть іще потужніші чіпи. Ціни далі падають відповідно до закону Мура і врешті дійдуть до кількох доларів.

Шейна Келлі, професор факультету медицини Торонтонського університету, каже: “Сьогодні, аби оцінити клінічно значущий зразок біомаркерів раку, потрібна ціла кімната комп'ютерів, і результати з'являються не відразу. Тим часом наша група змогла виміряти біомолекули за допомогою електронного чіпа завбільшки з ніготь”.<sup>8</sup> Вона передбачає, що незабаром усе обладнання, яке потрібне, аби

проаналізувати цей чіп, зменшиться до розмірів мобільного телефону. Це означає, що ми стиснемо цілу хімічну лабораторію, яку сьогодні можна побачити в лікарні чи університеті, до розмірів одного-єдиного чіпа, яким зможемо користуватися у власній ванній кімнаті.

Лікарі в Массачусетській лікарні загального профілю створили власний біочіп, у 100 разів потужніший за все, що сьогодні є на ринку. Зазвичай циркулюючі пухлинні клітини (ЦПК) становлять менше ніж одну мільйонну частку всіх клітин крові, однак якщо вони розмножуватимуться, то зрештою можуть убити людину. Новий біочіп достатньо чутливий, аби виявити в крові людини циркулюючі пухлинні клітини, навіть якщо ті становлять лише одну мільярдну частку всіх клітин. На сьогодні вже підтверджено, що цей чіп може виявляти рак легень, простати, підшлункової залози, грудей і кишківника, проаналізувавши всього декілька мілілітрів крові людини.

За допомогою стандартної технології фотолітографії виготовляють чіпи, що містять 78 000 мікроскопічних кілків (кожний заввишки 100 мікронів). Під електронним мікроскопом такий чіп нагадує вирубку з круглими пеньками. Кожний кілок покривають антитілом до адгезивної молекули епітеліальних клітин, яка трапляється в багатьох видах ракових клітин, але відсутня в здорових клітинах. Адгезивні молекули епітеліальних клітин потрібні раковим клітинам, щоб ті могли взаємодіяти між собою, утворюючи пухлину. Якщо по такому чіпу тече кров, циркулюючі пухлинні клітини прилипають до мікроскопічних кілків. У клінічних тестах цей чіп успішно виявив рак у 115 зі 116 пацієнтів.

Поширення таких лабораторій на чіпі, на додаток до інших переваг, радикально змінить вартість діагностування хвороб. Сьогодні біопсія чи хімічний аналіз може коштувати кількисот доларів і тривати кілька тижнів. У майбутньому це може коштувати лише кілька центів і тривати лише кілька хвилин. Швидкість і доступність діагностики раку, ймовірно, різко зростуть. Можливо, щоразу, чистячи зуби, ми водночас проходимемо ретельну перевірку на багато різних хвороб, у тому числі й рак.

Лерой Гуд і його колеги з Вашингтонського університету створили чіп, приблизно 4 сантиметри завширшки, який може перевіряти наявність конкретних білків у крові людини на основі однієї-єдиної краплі крові. Білки – це структурні елементи життя. Наші м'язи, шкіра, волосся, гормони й ферменти – все це складається з білків. Виявлення білків, що типові для таких хвороб, як рак, може стати основою для

діагностики хвороби на ранніх стадіях. Сьогодні цей чіп коштує тільки десять центів і може виявити конкретний білок за десять хвилин, отже, він у кілька мільйонів разів ефективніший за попередню систему. Гуд передбачає, що настане день, коли такий чіп зможе швидко проаналізувати сотні тисяч білків і попередити нас про багато різних хвороб за кілька років до того, як вони стануть небезпечні.

## ВУГЛЕЦЕВІ НАНОТРУБКИ

Приблизне уявлення про потужність нанотехнологій можуть дати вуглецеві нанотрубки. В принципі, вуглецеві нанотрубки міцніші за сталь і теж можуть проводити електрику; відтак, теоретично, комп'ютери можна створювати на основі вуглецю. Однак є одна проблема: аби бути максимально міцними, вуглецеві нанотрубки мусять бути в чистому вигляді, тим часом найдовший фрагмент чистого вуглецевого волокна має довжину лише кілька сантиметрів. Утім, можливо, колись із вуглецевих нанотрубок виготовлятимуть цілі комп'ютери й інші молекулярні структури.

Вуглецеві нанотрубки складаються з окремих атомів вуглецю, що з'єднані між собою в формі трубки. Уявіть звичайну шестикутну сітку, в якій кожний вузлик – це атом вуглецю. Тепер скрутіть цю сітку в трубу – й одержите геометрію вуглецевої нанотрубки. Вуглецеві нанотрубки формуються завжди, коли утворюється сажа, однак науковці ніколи не думали, що атоми вуглецю можуть з'єднуватись таким оригінальним способом.

Майже чудодійні властивості вуглецевих нанотрубок зумовлені їхньою атомною структурою. Зазвичай будь-який твердий уламок речовини, як-от камінь чи шматок дерева, – це конгломерат із багатьох структур, що накладаються одна на одну. У такій речовині легко утворюються тріщини, від яких вона розпадається на частини. Отже, міцність матеріалу залежить від досконалості його молекулярної структури. Приміром, графіт – це чистий вуглець, однак він дуже м'який, оскільки складається з шарів, що легко можуть ковзати один по одному. Шар графіту складається з атомів вуглецю, кожний із яких зв'язаний з трьома іншими атомами.

Алмаз – це теж чистий вуглець, але водночас це найміцніший природний мінерал. Атоми вуглецю в алмазі зв'язані в щільну кристалічну ґратку, що й зумовлює феноменальну міцність цього мінера-

лу. Аналогічно, вуглецеві нанотрубки завдячують своїми дивовижними властивостями правильній атомній структурі.

Вуглецеві нанотрубки вже потроху прокладають собі шлях у промисловість. Оскільки вони проводять електрику, з них можна виготовляти кабелі для високовольтних електричних мереж. Оскільки вони міцні, з них можна виготовляти матеріали, міцніші за кевлар.

Однак найважливіше застосування вуглець, мабуть, знайде в комп'ютерній сфері. Вуглець – один із кількох кандидатів для заміни кремнію як основи комп'ютерних технологій. Можливо, колись майбутнє світової економіки залежатиме від відповіді на запитання: що замінить кремній?

## ПОСТКРЕМНІЄВА ЕРА

Як ми вже згадували раніше, закон Мура – цей фундамент інформаційної революції – не діятиме вічно. Майбутнє світової економіки й долі багатьох країн можуть зрештою залежати від того, яка саме держава знайде відповідну заміну кремнію.

Питання “Коли настане кінець закону Мура?” кидає в дрож усю світову економіку.<sup>9</sup> Самого Гордона Мура 2007 року спитали, чи вважає він, що знаменитий закон, названий на його честь, діятиме вічно. “Звичайно, ні”, – відповів той і спрогнозував, що закон припинить діяти через десять-п'ятнадцять років.

Цей приблизний прогноз збігається з думкою, яку раніше висловив Паоло Гардіні, старший спеціаліст із технічної політики в корпорації *Intel*. Оскільки корпорація *Intel* задає тон у всій напівпровідниковій індустрії, слова Гардіні ретельно проаналізували. На щорічній виставці-конференції напівпровідникових матеріалів і обладнання *Semicon/West* 2004 року він сказав: “Ми розуміємо, що можемо протриматись на законі Мура ще принаймні п'ятнадцять-двадцять років”.<sup>10</sup>

Рушійною силою сучасної революції у сфері кремнієвих комп'ютерів був і залишається один важливий факт: це здатність ультрафіолетового випромінювання вирізати на кремнієвій підкладці дедалі менші транзистори. Сьогодні в процесорі *Pentium* може бути кількасот мільйонів транзисторів на площі завбільшки з ніготь. Оскільки довжину хвилі ультрафіолетового випромінювання можна зменшити до 10 нанометрів, технологія травлення дає змогу вирізати компоненти шириною

лише тридцять атомів. Однак процес мініатюризації не може тривати вічно. Рано чи пізно він припиниться з низки причин.

По-перше, тепло, що його виділяють потужні чіпи, в якийсь момент почне їх плавити. Одна наївна пропозиція полягала в тому, щоб покласти кілька кремнієвих підкладок одну на другу й створити таким способом кубічний чіп. Це збільшило б обчислювальну потужність процесора, однак ціною більшого тепловиділення. Кубічний чіп виділяє стільки тепла, що на ньому можна засмажити яйце. Причина проста: кубічний чіп має недостатню площу поверхні, щоб можна було його охолодити. Загалом, якщо гарячий чіп охолоджувати водою чи повітрям, то ефект прямо пропорційний величині поверхневого контакту. Але якщо чіп має форму куба, то його площа поверхні недостатня. Приміром, якщо ребро куба збільшити вдвічі, то тепло, яке він виділятиме, збільшиться у вісім разів (оскільки цей куб міститиме у вісім разів більше електричних компонентів), а його площа поверхні – лише в чотири рази. Це означає, що зі збільшенням розмірів кубічного чіпа обсяг тепла, яке він виділяє, зростає швидше, ніж можливість його охолодити. Що більший кубічний чіп, то важче його охолодити. Відтак кубічні чіпи можуть бути тільки частковим, тимчасовим розв'язком цієї проблеми.

Дехто пропонував просто використовувати для травлення мікросхем не ультрафіолетове проміння, а рентгенівське. В принципі, це могло б спрацювати, оскільки довжина хвилі рентгенівських променів може бути в 100 разів меншою, ніж в ультрафіолетового світла. Але є й зворотний бік. Якщо перейти з ультрафіолету на рентген, то збільшиться енергія променя – приблизно в 100 разів. Це означає, що рентгенівські промені можуть просто знищити кремнієву підкладку. Рентгенівську літографію можна порівняти зі спробою художника виліпити делікатну скульптуру за допомогою паяльної лампи. Рентгенівська літографія вимагає строгого контролю всіх параметрів і може бути тільки короткочасним вирішенням.

По-друге, є фундаментальна проблема, що впливає з квантової теорії: принцип невизначеності, який означає, що не можна точно знати водночас і місце перебування, і швидкість атома чи частинки. Сьогодні в процесорі *Pentium* товщина шару становить близько тридцяти атомів. До 2020 року вона може зменшитись до п'яти атомів; у цьому випадку місце перебування електронів стає невизначеним і вони починають просочуватись крізь шари, спричиняючи



коротке замикання. Отже, для мінімального розміру кремнієвого транзистора існує квантове обмеження.

Як я вже згадував, колись мені довелося виступати з доповіддю перед трьома тисячами найкращих інженерів корпорації *Microsoft* у їхній штаб-квартирі в Сієтлі, і я наголосив на проблемі сповільнення дії закону Мура. Найкращі програмісти світу зізнались мені, що тепер вони ставляться до цієї проблеми дуже серйозно, й один із їхніх головних варіантів її розв'язання – паралельна обробка даних. Найпростіший спосіб реалізувати таку схему – поставити паралельно декілька процесорів, так щоб комп'ютерна задача розбивалась на частини, а в кінці знову збиралася б докупи.

Паралельна обробка даних – одна з ключових особливостей роботи нашого мозку. Якщо зробити магнітно-резонансну томографію мозку в момент, коли той мислить, то виявиться, що різні ділянки збуджуються одночасно; це означає, що мозок розбиває задачу на менші частини й опрацьовує їх усі одночасно. Саме тому нейрони (які передають електричні сигнали з нестерпно малою швидкістю – 200 миль за годину) можуть перевершити суперкомп'ютер, у якому інформація рухається майже зі швидкістю світла. Наш мозок програє в швидкості, але з лихвою надолужує це тим, що виконує мільярди маленьких обчислень одночасно, а тоді зводить усі результати докупи.

Складність паралельної обробки даних полягає в тому, що кожену задачу треба розбивати на кілька частин. Потім кожену частину обробляє окремий процесор, а наприкінці результати збираються докупи. Координування цієї розбивки на частини може виявитись надзвичайно складною процедурою, до того ж воно залежить від кожної конкретної задачі – універсальний алгоритм знайти дуже важко. Людський мозок робить це без особливих зусиль, але Матінка Природа мала на розв'язання цієї задачі мільйони років. Програмісти ж наразі працюють над нею лише близько десяти років.

## АТОМНІ ТРАНЗИСТОРИ

Одна можлива заміна кремнієвих чіпів – транзистори, створені з окремих атомів. Якщо кремнієві транзистори перестають функціонувати справно, тому що проводи й шари в мікросхемах зменшуються до атомного масштабу, то чому не почати все наново й не проводити обчислення на атомах?

Це можна реалізувати, зокрема, за допомогою молекулярних транзисторів. Транзистор – це перемикач, який дає змогу контролювати струм у провіднику. Кремнієвий транзистор можна замінити однією молекулою, яка утворюється при взаємодії, наприклад, ротаганів з бензолтіолом. Така молекула виглядає, як довга трубка, що має посередині круглу “клямку”, або клапан, з атомів. У звичних умовах струм вільно тече цією трубкою, тобто вона проводить електрику. Однак можна й повернути “клямку” і перекрити струм. У такому разі ціла молекула виконує функцію перемикача, що керує потоком електрики. В одному положенні “клямка” пропускає струм, і це може представляти число “1”. Якщо “клямку” повернути, струм зупиняється, і це представляє число “0”. Отже, за допомогою молекули можна передавати цифрові повідомлення.

Молекулярні транзистори вже існують. Кілька корпорацій оголосили, що створили транзистори з окремих молекул. Однак, аби ці транзистори стали придатними для комерційного застосування, треба ще навчитися правильно включати їх в електричний ланцюг і розробити технологію масового виробництва.

Один перспективний кандидат на роль молекулярного транзистора – це так званий графен, який уперше відокремили від графіту 2004 року Андре Гейм і Костя Новосьолов з Манчестерського університету; за це вони одержали Нобелівську премію. Графен – це як одинарний шар графіту. На відміну від вуглецевих нанотрубок, які є аркушами з атомів вуглецю, скрученими в довгі вузькі трубки, графен – це окремий шар вуглецю завтовшки лише один атом. Подібно до вуглецевих нанотрубок, графен представляє новий стан речовини, і зараз науковці досліджують його дивовижні властивості, у тому числі електропровідність. “З погляду фізики графен – це золота жила. Його можна досліджувати віками”, – зауважує Новосьолов.<sup>11</sup> (До того ж графен – найміцніший з усіх відомих науці матеріалів. Якби можна було помістити слона на олівець, а олівець поставити на аркуш графену, то графен би не тріснув.)

За допомогою стандартних технологій, які застосовують у комп’ютерній галузі, група науковців під керівництвом Новосьолова створила такі маленькі транзистори, яких іще не бувало. Тонкими пучками електронів у графені вирізали канали, й утворився найменший у світі транзистор: один атом завтовшки і десять завширшки. (На сьогодні найменші молекулярні транзистори мають розмір

близько 30 нанометрів. Найменші транзистори Новосьолова ще в тридцять разів менші.)

Ці графенові транзистори такі малі, що, фактично, можуть представляти собою абсолютну межу для молекулярних транзисторів. Якщо зробити транзистор іще меншим, то принцип невизначеності візьме гору й електрони почнуть просочуватися з транзистора, руйнуючи його властивості. “Це, практично, найменший транзистор, який тільки можливо виготовити”, – каже Новосьолов.<sup>12</sup>

На роль молекулярних транзисторів є декілька перспективних кандидатів, однак справжня проблема тут значно буденніша: як включити ці транзистори в електричний ланцюг і як зробити з них комерційно життєздатний продукт. Створити окремий молекулярний транзистор не достатньо. Відомо, що молекулярними транзисторами надзвичайно складно маніпулювати, оскільки вони можуть бути в тисячі разів тоншими за людську волосину. Розробити технологію їх масового виробництва – надскладне завдання. На сьогодні такої технології немає.

Приміром, графен – настільки новий матеріал, що науковці ще не знають, як виготовляти його у великих кількостях. Науковці можуть виготовити лише 0,1 міліметра чистого графену – очевидно, що цього надто мало для комерційного застосування. Є надія на те, що вдасться знайти процес самозбирання молекулярного транзистора. У природі іноді трапляються групи молекул, що самостійно організуються в чітку структуру, немов чарами. Досі ще нікому не вдалося надійно відтворити цих чарів.

## КВАНТОВІ КОМП'ЮТЕРИ

Найамбітніша пропозиція – використовувати квантові комп'ютери, що здійснюють обчислення, фактично, на окремих атомах. Дехто стверджує, що квантові комп'ютери – це остаточний варіант комп'ютера, оскільки атом – це найменша одиниця, на якій можна проводити обчислення.

Атом нагадує дзигу, що обертається. Теоретично, цифрову інформацію можна зберігати в системі дзиг, що обертаються, умовно приписавши число 0 обертанню дзиги за годинниковою стрілкою, а число 1 – обертанню проти годинникової стрілки. Якщо перевернути одну дзигу, то 0 перетвориться на 1, і це означатиме, що ви здійснили обчислення.

Але в чудернацькому квантовому світі атом, у деякому сенсі, обертається одночасно і за годинниковою стрілкою, і проти неї. (У квантовому світі бути одночасно в кількох місцях – звичне явище.) Відтак атом може містити значно більше інформації, ніж 1 чи 0. Він може описувати будь-яку суміш 0 і 1. Отже, квантові комп'ютери використовують не біти інформації, а радше “кюбіти”. Приміром, атом може обертатись на 25 відсотків за годинниковою стрілкою і на 75 відсотків проти неї. Таким чином, атом, що обертається, може зберігати значно більше інформації, ніж один біт.

Квантові комп'ютери настільки потужні, що ЦРУ вже деякий час розглядає можливість використовувати їх для зламування кодів. Коли ЦРУ намагається зламати код іншої держави, то воно шукає відповідний ключ. Сьогодні держави вигадують хитромудрі ключі, щоб кодувати свою інформацію. Приміром, ключ може ґрунтуватись на розкладанні якогось великого числа на множники. Неважко розкласти на множники, скажімо, число 21, яке є добутком 3 і 7. А тепер уявіть, що ви маєте ціле стозначне число, і вам треба подати його як добуток двох інших цілих чисел. Цифровий комп'ютер може виконувати таку задачу сто років. Зате квантовий комп'ютер настільки потужний, що, в принципі, може легко зламати такий код. У виконанні таких масштабних задач квантовий комп'ютер істотно перевершує звичайний.

Квантові комп'ютери – це не наукова фантастика, вони вже існують. Я навіть бачив квантовий комп'ютер на власні очі, коли був у Массачусетському технологічному інституті в лабораторії Сета Ллойда, одного з піонерів у цій галузі. В його лабораторії повно комп'ютерів, вакуумних насосів і сенсорів, однак головне місце в ній посідає пристрій, що зовні нагадує стандартний магнітно-резонансний томограф, тільки значно меншого розміру. Як і в магнітно-резонансному томографі, в цьому пристрої є дві великі катушки дроту, що створюють у просторі між собою однорідне магнітне поле. У це поле Ллойд кладе матеріал-зразок. Атоми всередині зразка вирівнюються за магнітним полем, як дзиги. Якщо атом має “спін угору”, то це відповідає 0, якщо “спін униз”, то 1. Тоді Ллойд посилає на цей зразок електромагнітний імпульс, і позиції атомів змінюються. Деякі з них перевертаються, отже, 1 перетворюється на 0. Тобто квантовий комп'ютер виконав якесь обчислення.

То чому ж на наших столах досі не стоять квантові комп'ютери й не розгадують загадок Усесвіту? Ллойд зізнався мені, що справжня проблема, яка гальмує створення квантових комп'ютерів, – це зовнішні подразники, що руйнують делікатні властивості атомів.

Коли атоми “когерентні” й вібрують синхронно, найменші завади з зовнішнього світу можуть зруйнувати цю делікатну рівновагу – атоми декогерують і перестають вібрувати в унісон. Достатньо одного-єдиного космічного променя чи гуркоту вантажівки під вікнами лабораторії, аби порушити когерентність цих атомів і звести обчислення нанівець.

Проблема декогерентності – найсерйозніший бар'єр на шляху до створення квантових комп'ютерів. Той, хто зможе її розв'язати, не тільки одержить Нобелівську премію, а й стане найбагатшою людиною на Землі.

Як ви здогадуєтесь, створення квантових комп'ютерів з окремих атомів – важкий процес, оскільки атоми швидко декогерують і випадають із фази. Найскладніше обчислення, яке досі вдалося здійснити на квантовому комп'ютері, – це  $3 \times 5 = 15$ . Мабуть, це не справляє враження, однак не забувайте: це обчислення здійснили на окремих атомах.

На додаток є ще одна чудернацька складність, що походить із квантової теорії й теж зумовлена принципом невизначеності. Всі обчислення, що здійснені на квантовому комп'ютері, невизначені, відтак кожне обчислення треба повторювати багато разів. Отже,  $2+2=4$ , принаймні іноді. Якщо повторити це обчислення кілька разів, то остаточний результат усередниться до 4. Тож навіть арифметика на квантовому комп'ютері стає невизначеною.

Ніхто не знає, коли вдасться розв'язати проблему декогерентності. Вінтон Серф, один із творців інтернету, передбачає: “До 2050 року ми неодмінно знайдемо способи, як здійснювати квантові обчислення за кімнатної температури”.<sup>13</sup>

Варто теж зазначити, що ставки в цій грі настільки високі, що науковці досліджують відразу декілька різноманітних конструкцій майбутнього комп'ютера. Нижче описано деякі з них.

- **Оптичні комп'ютери.** Ці комп'ютери здійснюють обчислення на світлових променях, радше ніж на електронах. Оскільки промені можуть проходити один крізь одного, оптичні комп'ютери мають ту перевагу, що можуть бути

кубічної форми, без жодних проводів. Крім того, лазери можна виготовляти за допомогою того самого методу літографії, що й звичайні транзистори, отже, теоретично, в один чіп можна впакувати мільйони лазерів.

- **Комп'ютери на квантовій точці.** В напівпровідниках, що їх використовують у чіпах, можна витравити малесенькі точки – ці точки настільки малі, що складаються, мабуть, лише зі 100 атомів. За таких умов ці атоми можуть почати вібрувати в унісон. У 2009 році було створено найменшу в світі квантову точку – з одного-єдиного електрона. Квантові точки вже довели свою корисність у світлодіодах і комп'ютерних дисплеях. У майбутньому, якщо нам вдасться правильно розташувати ці квантові точки, то з них навіть може вийти квантовий комп'ютер.
- **ДНК-комп'ютери.** Перший комп'ютер на основі ДНК-молекули створили 1994 року в Університеті Південної Каліфорнії. Оскільки в нитці ДНК інформацію закодовано за допомогою нуклеотидів, представлених символами *A, T, C, G*, – замість нулів і одиниць – то ДНК можна розглядати як звичайну комп'ютерну стрічку, за винятком того, що вона може вмістити більше інформації. Так само, як комп'ютер маніпулює великими числами, можна здійснювати й аналогові маніпуляції, змішуючи в трубках рідини, що містять ДНК, які можна розрізати і з'єднувати різними способами. Цей процес повільний, однак у ДНК-комп'ютері одночасно працює стільки трильйонів молекул ДНК, що такий комп'ютер може розв'язувати деякі задачі ефективніше, ніж цифровий. Щоправда, на відміну від компактного цифрового комп'ютера, який можна вмістити в мобільний телефон, ДНК-комп'ютери громіздкі й незручні, оскільки для виконання обчислень мусять змішувати рідини, що містять ДНК.

## СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)

### ЗМІНА ФОРМИ

У фільмі *Термінатор-2: Судний день* Арнольда Шварценеггера атакує вдосконалений робот із майбутнього – *T-1000*, що виготовлений з рідкого металу. Цей робот нагадує пливку масу ртуті; він може змінювати форму й прослизати крізь будь-які перешкоди. Він може просочуватися в найменші щілини й перетворювати власні руки й ноги на нищівну зброю. А тоді несподівано повернутися до первинного вигляду і продовжити свій смертоносний шлях. Складається враження, що *T-1000* – це досконалий робот-убивця, якого неможливо зупинити.

Усе це, звісно, фантастика. Сучасні технології не дають змоги довільно змінювати форму твердого об'єкта. Втім, до середини сторіччя якийсь різновид технології зміни форми може вкоренитися в наше життя. Тим паче, що одна з головних компаній, які розробляють цю технологію, – корпорація *Intel*.

До 2050 року плоди нанотехнологій будуть усюди, однак сховані від очей. Майже кожний продукт буде вдосконалений за допомогою техніки молекулярного виробництва і стане надзвичайно міцним, опірним і гнучким. Крім того, нанотехнології дадуть нам сенсори, що постійно захищатимуть нас і допомагатимуть нам; вони будуть розкидані по середовищу й непомітні для очей. Ми йтимемо вулицею, і все виглядатиме як завжди – ми й не здогадуватимемося, наскільки нанотехнології змінили світ навколо нас.

Проте один результат нанотехнологій буде очевидним.

Робот-убивця *T-1000* з фільму *Термінатор* – це, мабуть, найяскравіший приклад об'єкта зі сфери так званої “програмованої матерії”, завдяки якій ми колись, імовірно, зможемо змінювати форму, колір і фізичні властивості об'єкта простим натисканням кнопки. На примітивному рівні навіть неонові реклами – це різновид програмованої матерії, оскільки можна натиснути на вмикач – і в трубці з газом виникне електричний струм. Електрика збуджує атоми газу, які потім повертаються до нормального стану й одночасно випромінюють світло. Трохи складніший варіант – рідкокристалічний комп'ютерний дисплей. Він містить рідкий кристал, який під дією слабого електричного струму стає непрозорим. Регулюючи струм

усередині рідкого кристалу, можна простим натисканням кнопки створювати на екрані кольори й форми.

Науковці з корпорації *Intel* мають значно більші амбіції. Вони сподіваються, що за допомогою програмованої матерії справді змінюватимуть форму твердого об'єкта – точнісінько як у науковій фантастиці. Ідея проста: треба створити комп'ютерний чіп у формі малесенької піщинки. Ці “розумні піщинки” дадуть нам змогу змінювати статичний електричний заряд на поверхні так, щоб вони могли взаємно притягуватись або відштовхуватись. При одному наборі зарядів ці “піщинки” можуть вишикуватись у якусь конкретну форму. Однак ми можемо їх перепрограмувати, і їхні електричні заряди зміняться. Тоді вони вмиють переконфігуруються й утворять зовсім інший об'єкт. Такі піщинки називають “катомами” (скорочено від “клейтронні атоми”), оскільки вони, як і атоми, можуть утворювати багато різноманітних об'єктів, просто змінюючи свої заряди. (Програмована матерія має багато спільного з модульними роботами, про яких ми говорили в другому розділі. Модульні роботи складаються з розумних блоків близько 2 дюймів завбільшки, що можуть самостійно набувати різної конфігурації; тим часом у програмованій матерії ці структурні елементи стиснуті до субміліметрових розмірів.)

Один із прихильників цієї технології – Джейсон Кемпбелл, старший дослідник у корпорації *Intel*. Він каже: “Уявіть собі мобільний пристрій. Мій мобільний телефон завеликий, аби зручно вмішатися в кишені, і замалий для моїх пальців. Ще гірше, коли я намагаюсь дивитися на ньому фільми чи писати листи. Але якби я мав 200-300 мілілітрів катомів, то вони щоразу набували б форми саме того пристрою, який мені потрібний у конкретний момент”.<sup>14</sup> Тобто, в одну мить у мене в руці мобільний телефон. В наступну він перетворюється на щось інше. У такому разі я не мушу носити з собою стільки електронних пристроїв.

Корпорація *Intel* уже створила в своїх лабораторіях катоми завбільшки приблизно з дюйм. Зовні кожний катом нагадує кубик з безліччю малесеньких електродів, що рівномірно розташовані на його гранях. Цей катом унікальний тим, що можна змінювати заряди на кожному з його електродів, і в результаті катоми з'єднуюватимуться між собою щораз інакше. При одному комплекті зарядів ці кубики можуть зібратися в один великий куб. Змініть заряд на кожному кубу – і катоми розсиплються й відразу зберуться в зовсім іншу форму – приміром, човен.



Суть полягає в тому, щоб зменшити кожний катом до розміру піщинки або й ще сильніше. Якщо колись технологія травлення кремнію дасть нам змогу створити катоми завбільшки з клітину, то ймовірно, що ми й справді зможемо змінювати одну форму на іншу, просто натискаючи кнопку. Джастін Раттнер, старший технічний спеціаліст корпорації *Intel*, каже: “У якийсь момент протягом наступних сорока років ця технологія стане буденною”.<sup>15</sup> Першими її почали б застосовувати конструктори автомобілів, авіаційні інженери, художники, архітектори і всі ті, кому доводиться створювати тривимірні макети своїх проєктів, а тоді постійно їх модифікувати. Приміром, якщо ви матимете макет чотиридверного седана, то зможете схопити його, потягнути – і раптом він перетвориться на хетчбек. Стисніть макет іще трошки – і він перетвориться на спортивне авто. Це набагато зручніше від модельної глини, яка не має ні пам’яті, ні інтелекту. Програмована матерія має інтелект, може пам’ятати попередні форми, пристосовуватись до нових ідей і реагувати на бажання дизайнерів. Як тільки модель буде розроблено остаточно, її схему можна просто розіслати електронною поштою тисячам інших дизайнерів, і вони зможуть створити точні копії.

Це може істотно вплинути на споживчі товари. Приміром, іграшки можна буде моделювати так, щоб вони змінювали форму, коли в них вводять нове програмне забезпечення. В такому разі на Різдво треба буде просто завантажити програму для нової іграшки, перепрограмувати стару – і з’являтиметься цілком нова іграшка. Тож діти на Різдво замість того, щоб розгортати подарунки, знайдені під ялинкою, завантажуватимуть програми для улюблених іграшок, які присилатиме їм електронною поштою Санта Клаус; катоми, з яких складалась торішня іграшка, будуть у найбільшому попиті. Це означає, що багато різноманітних споживчих товарів можуть зрештою перетворитися просто на комп’ютерні програми, які розсилатимуться інтернетом. Замість того, щоб наймати вантажівку, аби привезти додому нові меблі чи побутову техніку, ви зможете просто завантажити з мережі відповідну програму й переробити свої старі речі. З програмованою матерією ремонт будинків і помешкань уже не буде такою тяжкою повинністю. Щоб замінити в кухні плитку, стільниці, сантехніку й меблі, можливо, достатньо буде просто натиснути кнопку.

До того ж це могло б зменшити обсяг відходів. Замість того, щоб викидати непотрібні речі, ви зможете просто їх перепрограмувати.

Якщо якийсь побутовий пристрій чи щось із меблів зламається, цю річ треба буде тільки перепрограмувати, і вона знову стане новою.

Ця технологія обіцяє величезні вигоди, однак на шляху до її створення стоїть чимало проблем. Перша проблема – як скоординувати рух усіх цих мільйонів катомів. Крім того, будуть проблеми зі смугою пропускання, коли ми спробуємо завантажити в програмовану матерію всю потрібну інформацію. Однак деякі ідеї вже є.

Приміром, у фантастичних фільмах часто можна побачити, як один предмет перетворюється на інший – скажімо, людина раптом перетворюється на чудовисько. Зняти щось таке на плівку колись було дуже складно, але сьогодні ці фокуси елементарно робить комп'ютер. Спочатку треба визначити кілька векторів, що позначають різні ключові точки обличчя, зокрема ніс і очі – і для людини, і для чудовиська. Тоді комп'ютер запрограмовує, щоб він повільно змінив вектори одного обличчя на вектори іншого. З кожною маленькою зміною вектора поступово змінюється й обличчя. Можливо, для зміни форми тривимірного об'єкта вдасться застосувати схожу технологію.

Інша проблема полягає в тому, що статичні електричні сили, які зв'язують катони, слабкі порівняно з міжкатонними зв'язками, що зумовлюють цілісність більшості твердих тіл. Як ми вже побачили, квантові сили можуть бути достатньо потужними – саме вони роблять метали твердими, а пластик еластичним. Як продублювати ці квантові сили за допомогою електростатичних сил і забезпечити стабільність утворених предметів – це буде однією з проблем у майбутньому.

Я мав нагоду побачити на власні очі дивовижний, стрімкий поступ у сфері програмованої матерії, коли разом зі знімальною групою телеканалу *Science* побував у лабораторії Сета Голдстейна в Університеті Карнегі-Меллона. У цій лабораторії на столі стояли великі піраміди з кубиків різних розмірів, кожний із чіпом усередині. У мене на очах два кубики з'єднали за допомогою електричних сил, і Голдстейн запропонував мені спробувати роз'єднати їх вручну. Хоч як це дивно, та я не зміг. Так я пересвідчився, що електричні сили, які тримають ці кубики вкупі, доволі потужні. Голдстейн зауважив, що електричні сили будуть іще сильніші, якщо зменшити ці кубики. Тоді він повів мене в іншу лабораторію і показав, якими малесенькими можуть бути катони. За допомогою тієї самої технології, якою на кремнієвих підкладках витравлюють мільйони транзисторів, він вирізав мікроскопічні катони, завширшки лише кілька міліметрів. Вони були настільки дрібні, що мені довелося розглядати їх у мі-

кроскоп. Голдстейн сподівається, що колись, навчившись керувати електричними силами цим катомів, він зможе змусити їх з'єднатися в будь-яку конфігурацію одним натисканням кнопки – майже як чарівник, який може начарувати все, що йому заманеться.

Тоді я спитав: хіба можливо дати докладні вказівки багатьом мільярдам катомів, щоб, скажімо, холодильник раптом перетворився на кухонну плиту? Таке програмування здається просто якимсь кошмаром, сказав я. Голдстейн відповів, що не обов'язково давати докладні вказівки кожному катомові. Кожний катом мусить знати тільки те, з якими сусідніми катомами він має з'єднатися. Якщо кожний катом одержить команду з'єднатися тільки з невеличким числом сусідніх катомів, то всі катоми, немов за чарами, переконфігуруються в іншу складну структуру (так само нейрони в мозку дитини мусять знати тільки те, як з'єднатися з сусідніми нейронами; так мозок розвивається).

Якщо припустити, що проблеми програмування і стабільності вдасться розв'язати, то може статися, що до кінця сторіччя цілі будинки чи навіть міста поставатимуть від натискання кнопки. Треба буде тільки спланувати розташування будинків, викопати котловани для фундаментів – і трильйони катомів самі створять посеред пустелі чи лісу цілі міста.

Проте інженери в *Intel* передбачають і таке, що колись катоми можуть навіть набути людської форми. “Чому ні? Про це цікаво поміркувати”, – каже Раттнер.<sup>16</sup> (У такому разі робот *T-1000* може стати реальністю.)

## **ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)**

### **СВЯЩЕННИЙ ГРААЛЬ: РЕПЛІКАТОР**

Прибічники нанотехнологій передбачають, що до 2100 року з'явиться навіть іще потужніша машина – молекулярний складальник, або ж “реплікатор”, здатний створити все що завгодно. Цей пристрій буде завбільшки, мабуть, із пральну машину. У нього клас-тимуть сировину й натискатимуть на кнопку. Багато трильйонів нанороботів накидатимуться на сировину й розбиратимуть її на молекули, а тоді збиратимуть із цих молекул цілком новий предмет.

Реплікатор зможе виготовити будь-що. Він стане вінцем науки й інженерії, кульмінацією наших зусиль, що розпочалися ще в доісторичні часи, коли людина вперше підняла з землі знаряддя праці.

Одна з проблем на шляху до створення реплікатора – величезне число атомів, які треба відповідно сконфігурувати, аби скопіювати той чи інший об'єкт. Приміром, тіло людини містить понад 50 трильйонів клітин і понад  $10^{26}$  атомів. Це колосальне число, і навіть щоб просто зберігати інформацію про місце перебування кожного з цих атомів, потрібний величезний обсяг пам'яті.

Проте один спосіб, як можна розв'язати цю проблему, – це створити наноробота, тобто наразі ще гіпотетичного молекулярного робота. Нанороботи мають декілька ключових властивостей. По-перше, вони можуть самовідтворюватись. Якщо робот може відтворити себе один раз, то, в принципі, він може створити необмежене число копій себе. Тож головне – створити першого наноробота. По-друге, нанороботи вміють розпізнавати молекули й розрізати їх у точно визначених місцях. По-третє, вони вміють збирати з атомів нові молекули, дотримуючись заданої схеми. Відтак завдання реконфігурації  $10^{26}$  атомів зводиться до створення аналогічної кількості нанороботів, кожний з яких був би запрограмований маніпулювати окремими атомами. В такому разі величезне число атомів у тілі вже не є такою непереборною перешкодою. Справжня проблема – створити лише одного з цих міфічних нанороботів і дозволити йому розмножуватися самостійно.

Однак у науковій спільноті немає єдиної думки стосовно того, наскільки мрія про такого нановиробника здійсненна з погляду фізики. Дехто, зокрема Ерік Дрекслер, піонер нанотехнологій і автор книжки *Двигуни творіння*, вважає, що в майбутньому все виготовлятимуть на молекулярному рівні і в результаті товарів стане стільки, що сьогодні ми навіть не можемо уявити. Створення машини, яка може створити все що завгодно, докорінно змінить ціле суспільство. Проте інші науковці налаштовані скептичніше.

Приміром, нині покійний нобелівський лауреат Річард Смоллі в статті у журналі *Scientific American* від 2001 року порушив проблему “липких пальців” і “товстих пальців”. Головне питання ось яке: Чи можна створити такого молекулярного наноробота, який був би достатньо спритний, аби вільно переставляти молекули? Відповідь Смоллі: ні.

Дискусія на цю тему стала надбанням загалу, коли Смоллі зчепився з Дрекслером у низці листів, які 2003 і 2004 року передруку-

вали на сторінках журналу *Chemical and Engineering News*. Відлуння цієї суперечки відчутне дотепер. Позиція Смоллі полягала в тому, що “пальці” молекулярної машини не змогли б виконувати цих делікатних операцій з двох причин.

По-перше, на ці “пальці” діятимуть слабкі сили притягання, і в результаті вони прилипатимуть до інших молекул. Атоми прилипають один до одного почасти через слабкі електричні сили, що існують між їхніми електронами, на кшталт сили Ван дер Ваальса. Уявіть, як це – ремонтувати наручний годинник пінцетом, що змазаний медом. Зібрати таким інструментом щось настільки делікатне, як механізм годинника, було б неможливо. А тепер уявіть, що треба зібрати щось навіть складніше за годинник – молекулу – з компонентів, які постійно липнуть до пальців.

По-друге, ці пальці можуть виявитися надто “товстими”, аби маніпулювати атомами. Уявіть, що вам доводиться ремонтувати той самий годинник у грубих бавовняних рукавицях. Оскільки “пальці” складаються з окремих атомів – так само як і об’єкти, якими вони мають маніпулювати, – то ці пальці просто можуть виявитись затовстими для виконання потрібних делікатних операцій.

Наостанок Смоллі зауважив: “Як не можна змусити хлопця й дівчину закохатися одне в одного, просто звівши їх до купи, так само неможливо спровокувати бажану хімічну взаємодію між двома молекулярними об’єктами простим механічним рухом... Хімія, як і кохання, – справа делікатна”.<sup>17</sup>

Ця суперечка торкається самої суті питання, чи здійснить колись реплікатор революцію в суспільстві, чи так і залишиться лише цікавинкою, яку рано чи пізно викинуть на смітник незреалізованих технологічних ідей. Як ми побачили, закони фізики нашого світу не так просто перевести у фізику наносвіту. Ефекти, на які ми не зважаємо, такі як сили Ван дер Ваальса, поверхневий натяг, принцип невизначеності, принцип заборони Паулі тощо, в наносвіті стають домінантними.

Аби зрозуміти всю серйозність цієї проблеми, уявіть, що атом має розмір тенісного м’ячика і що у вас є басейн, повний таких атомів. Пірнути в такий басейн – зовсім не те саме, що пірнути в басейн із водою. “М’ячики” постійно вібрували б і вдарялися б об вас з усіх боків – через броунівський рух. Плавати в такому басейні було б майже неможливо – це те саме, що плавати в патоці. Щоразу, коли б ви намагалися схопити один із “м’ячиків”, він завдяки складній комбінації сил або втік би від вас, або прилипав би до ваших пальців.

Зрештою обоє науковців зійшлися на тому, що кожний залишить-ся при своїй думці. Смоллі не вдалося “нокаутувати” молекулярний реплікатор, однак коли пристрасті після наукової сутички вгамувалися, дещо таки з’ясувалось. По-перше, обидва науковці визнали, що наївна ідея про наноробота, який розрізає і склеює молекули за допомогою молекулярного пінцета, потребує доопрацювання. На атомному рівні домінуючими стають нові квантові сили.

По-друге, хоча цей реплікатор, чи універсальний виробник, сьогодні – лише фантастика, один різновид його вже існує. Приміром, Матінка Природа вміє перетворювати гамбургери й овочі на немовля лише за дев’ять місяців. Цю операцію виконують молекули ДНК (в яких закодовано “креслення” дитини); вони керують діями рибосом (які розрізають і склеюють молекули у належній послідовності) і використовують білки та амінокислоти, що містяться в їжі.

І по-третє, можливо, що молекулярний складальник і функціонував би, однак у складнішому варіанті. Приміром, як зауважив Смоллі, якщо зблизити два атоми, то це ще не гарантує реакції між ними. Матінка Природа для розв’язання цієї проблеми часто залучає третю сторону – водний розчин ферменту, що може стимулювати хімічну реакцію. Смоллі зазначив, що багато хімічних речовин, що їх використовують у комп’ютерах і електронній промисловості, не розчиняються у воді. Дрекслер на це відповів, що не для всіх хімічних реакцій потрібна вода чи ферменти.

Приміром, один можливий варіант має назву самоскладання, або ж підхід “знизу догори”. З давніх-давен люди застосовують у будівництві підхід “згори донизу”. За допомогою таких інструментів, як молоток і пила, ріжуть дерево, складають дошки до купи і створюють більші споруди, такі як будинок, відповідно до плану. Кожним кроком цього процесу треба чітко керувати згори.

При підході “знизу догори” об’єкти складаються самостійно. В природі, наприклад, прекрасні сніжинки під час заметілі кристалізуються самі. Багато трильйонів атомів організуються в нові форми. Ніхто не мусить проектувати кожну сніжинку окремо. Те саме часто трапляється в біологічних системах. Бактеріальні рибосоми – складні молекулярні системи, що містять принаймні п’ятдесят п’ять різних білкових молекул і кілька молекул РНК, – можуть спонтанно складатися в пробірці.

Самоскладання застосовують також у напівпровідниковій промисловості. Компоненти, що їх використовують у транзисторах, іноді

складаються самі. Застосовуючи у строгій послідовності різноманітні складні технології і процеси (зокрема швидке охолодження, кристалізацію, полімеризацію, осаджування з парової фази, затверднення тощо), можна виготовити чимало повноцінних комп'ютерних компонентів. Як ми вже побачили раніше, таким методом можна виготовляти певний тип наночастинок, які застосовують проти ракових клітин.

Утім, більшість предметів таки не створюються самі. Загалом лише малесенька частка наноматеріалів засвідчила здатність до коректного самоскладання. Неможливо одержати за допомогою самоскладання саме такий нанопристрій, який вам хотілося б. Відтак поступ у створенні нанопристроїв методом самоскладання буде стабільний, однак повільний.

Отже, молекулярні складальники, очевидно, не суперечать законам фізики, але створити їх буде надзвичайно складно. Нанороботів не існує сьогодні й не існуватиме в близькому майбутньому, однак щойно (і якщо) першого наноробота успішно створять, це може докорінно змінити суспільство.

## СТВОРЕННЯ РЕПЛІКАТОРА

Як міг би виглядати реплікатор? Точно цього ніхто не знає, оскільки до його створення залишається ще багато десятиріч, а то й ціле сторіччя. Однак я одержав деяке уявлення, яким міг би бути реплікатор, коли для однієї передачі на телеканалі *Science* моє обличчя відсканували лазерним променем і зробили з нього реалістичну тривимірну пластикову копію. У процесі сканування лазерний промінь горизонтально ковзав моїм обличчям, а спеціальний сенсор фіксував, як цей промінь відбивається від шкіри, і передавав інформацію в комп'ютер. Тоді промінь проходив по обличчю знову, але вже трохи нижче. Врешті-решт, промінь відсканував ціле обличчя, поділивши його на багато горизонтальних скибочок. На комп'ютері поступово з'явилося тривимірне зображення мого обличчя, з точністю, мабуть, до десятої частки міліметра, яке складалося з цих горизонтальних скибочок.

Тоді цю інформацію ввели у більший пристрій – завбільшки приблизно як холодильник – який може створити тривимірну пластикову копію майже будь-чого. Цей пристрій має тоненький носик, що рухається горизонтально з боку в бік. При кожному проході він розприскує малесеньку кількість розплавленого пластику, дублюю-

ючи первинне лазерне зображення мого обличчя. Приблизно через десять хвилин, після багатьох проходів, із пристрою вийшла готова пластикова форма, дивно схожа на моє обличчя.

Комерційні перспективи цієї технології величезні, оскільки вона дає змогу за лічені хвилини створити реалістичну копію будь-якого тривимірного об'єкта – наприклад, складних деталей машини. І можна припустити, що за кілька десятиріч або сторіч з'явиться пристрій, який створюватиме тривимірні копії реальних об'єктів з точністю до клітинного й атомного рівнів.

На наступному рівні за допомогою такого тривимірного сканера можна буде створювати живі органи людського тіла. У Вейк-Форестському університеті науковці розробили новий спосіб створення живої серцевої тканини за допомогою струменевого принтера. Спочатку треба ретельно скласти комп'ютерну програму, яка успішно розприскуватиме живі клітини серцевої тканини з кожним проходом каретки. Для цієї процедури науковці використовують звичайний струменевий принтер, але заповнюють його картридж не чорнилом, а сумішшю рідин, що містять живі клітини серцевої тканини. Таким способом науковці можуть керувати точним розташуванням кожної клітини в просторі. Після багатьох проходжень каретки реально утворюються шари серцевої тканини.

Є ще один пристрій, який у перспективі може допомогти нам визначити розташування кожного атома в нашому тілі; це магнітно-резонансний томограф. Як ми вже зазначали раніше, точність магнітно-резонансної томографії становить близько однієї десятої міліметра. Це означає, що кожний піксель навіть чутливого магнітно-резонансного томографа може відповідати тисячам клітин. Однак, якщо розглянути фізичні принципи, що лежать в основі магнітно-резонансної томографії, то з'ясується, що точність зображення залежить від однорідності магнітного поля всередині томографа. Відтак, посилюючи однорідність магнітного поля, можна досягнути більшої точності томографії.

Науковці вже передбачають появу пристрою типу магнітно-резонансного томографа з розділенням близько розміру клітини і навіть ще меншим, який би давав змогу розрізняти окремі молекули й атоми.

Отже, реплікатор не суперечить законам фізики, однак створити його за принципом самоскладання буде важко. До кінця цього сторіччя, коли ми остаточно опануємо технологію самоскладання, можна буде подумати про комерційне застосування реплікаторів.



## СІРИЙ СЛИЗ?

Дехто ставиться до нанотехнологій із застереженням. Зокрема Білл Джой, засновник компанії *Sun Microsystems*, написав, що рано чи пізно нанотехнології вийдуть з-під контролю людини, пожеруть усі мінерали Землі, а натомість виплюнуть ні на що не придатний сірий слиз. Навіть принц Чарлз висловився проти нанотехнологій і сценарію з сірим слизом.

Небезпека криється в головній властивості нанороботів: здатності самовідтворюватись. Якщо випустити нанороботів у навколишнє середовище, то повернути їх назад уже буде неможливо, так само як віруси. У якийсь момент вони можуть почати розмножуватись безконтрольно, захопити довкілля і знищити Землю.

Моя особиста думка така, що доки ця технологія дозріє до створення реплікатора, залишається ще багато десятиріч, а то й сторіч, відтак хвилюватися через сірий слиз наразі передчасно. У наступні десятиріччя буде вдосталь часу, щоб розробити заходи безпеки від нанороботів, які вийшли з-під контролю. Наприклад, можна створити таку систему безпеки, щоб можна було натиснути на одну аварійну кнопку і вимкнути одночасно всіх нанороботів. Або ж можна створити роботів-убивць, спеціально призначених шукати й знищувати нанороботів, що вийшли з-під контролю.

Ще один варіант – повчитися в Матінки Природи, яка розв'язує цю проблему ось уже мільярди років. Наш світ кишить самовідтворювальними молекулярними формами життя – вірусами й бактеріями, – що можуть безконтрольно розмножуватись і мутувати. Однак організм людини створив власних “нанороботів” – антитіла й білі кров'яні тільця в нашій імунній системі, що розшукують і знищують чужорідні форми життя. Ця система, безперечно, недосконала, однак може слугувати прикладом розв'язання проблеми нанороботів, що вийшли з-під контролю.

## СОЦІАЛЬНІ НАСЛІДКИ РЕПЛІКАТОРІВ

В одній передачі на телеканалах *BBC* і *Discovery*, де я був ведучим, Джоел Гарро, автор книжки *Радикальна еволюція*, сказав: “Якщо самоскладання колись стане можливим, то це буде один з епохальних моментів в історії. Тоді світ зміниться на щось таке, чого ми раніше навіть не уявляли”.<sup>18</sup>

Є таке давнє прислів'я: Будь обережний у своїх бажаннях, бо вони можуть здійснитися. Найвища мета нанотехнологій – створити молекулярний складальник, або ж реплікатор, але щойно його винайдуть, він може змінити сам фундамент суспільства. Усі філософії й соціальні системи так чи інакше ґрунтуються на нестачі й бідності. Упродовж усієї історії людства саме це було в суспільстві домінантною темою, яка сформувала нашу культуру, філософію й релігію. У деяких релігіях багатство вважається божественною винагородою, а бідність – справедливим покаранням, тоді як буддизм ґрунтується на універсальній природі страждання й на тому, як ми даємо з ним раду. У християнстві в Новому Завіті сказано: “Легше верблюдові пройти крізь голчане вушко, ніж багатому увійти в Царство Небесне” (Мт. 19:24).

Крім того, розподіл багатства визначає характер суспільства. Феодалізм ґрунтується на нагромадженні багатства у жменьки аристократів на противагу бідності селян. Капіталізм ґрунтується на ідеї, що енергійні, продуктивні люди винагороджуються за свою працю тим, що засновують компанії і стають заможними. Але якщо ледачі, непродуктивні особи зможуть одержати все, що захочуть, майже за дарма, просто натиснувши на кнопку, то капіталізм перестане функціонувати. Реплікатор сплутає всі карти й переверне людські стосунки з ніг на голову. Різниця між заможними й незаможними може зникнути, а з нею зникне й уявлення про статус та політичну владу.

Цю ідею актуалізовано в одній із серій фільму *Зоряний шлях: наступне покоління*, де астронавти знаходять у відкритому космосі капсулу з двадцятого сторіччя. Всередині цієї капсули – заморожені тіла людей, які страждали від невиліковних хвороб того примітивного часу й сподівалися, що в майбутньому їх оживлять. Лікарі зоряного корабля *Ентерпрайз* швидко виліковують цих людей від їхніх хвороб і оживляють. Щасливчики здивовані, що їхній відчайдушний план спрацював, але серед них виявляється один прагматичний бізнесмен. Перше, про що він запитує: “Яке зараз сторіччя?” Дізнавшись, що тепер він живе в двадцять четвертому сторіччі, бізнесмен швидко усвідомлює, що його інвестиції, очевидно, до цього часу дуже зросли в ціні. Він хоче негайно сконтактуватися зі своїм банкіром на Землі. Але екіпаж *Ентерпрайзу* збентежений. Гроші? Інвестиції? Такого вже давно не існує. У двадцять четвертому сторіччі достатньо просто попросити – і одержуєш усе, чого забажаєш.

Усе це також піддає сумніву ідею досконалого суспільства, або ж утопії – слово це першим ужив сер Томас Мор у романі *Утопія*, який

він написав 1516 року. Вражений стражданнями й злиднями, що їх він бачив навколо себе, Мор уявив ідеальне суспільство на вигаданому острові в Атлантичному океані. У дев'ятнадцятому сторіччі в Європі було багато суспільних рухів, що шукали утопії в тій чи іншій формі, й чимало з них урешті-решт знайшли притулок у Сполучених Штатах, де ще й сьогодні можна побачити сліди їхніх поселень.

З одного боку, реплікатор міг би дати нам ту саму утопію, яку уявляли собі мрійники дев'ятнадцятого сторіччя. Попередні експерименти з утопією провалилися через нестачу матеріальних благ, що вела до нерівності, потім конфліктів і насамкінець – до краху. Але якщо реплікатори розв'яжуть проблему матеріальної скрути, то, можливо, утопія й справді не за горами. Мистецтво, музика й поезія процвітатимуть, а люди матимуть удосталь часу, аби спробувати здійснити найзаповітніші мрії й бажання.

З іншого ж боку, без таких мотивувальних чинників, як матеріальна скрута й гроші, все це може призвести до виникнення здеморалізованого, розбещеного суспільства, що опустилось до найнижчого рівня. Лише крихітна жменька найобдарованіших людей іще прагнучиме писати поезію. Всі ж решта, як стверджують критики, перетворяться на нікчемних ледарів і нероб.

Навіть визначення, що їх використовували прибічники утопії, викликають сумніви. Приміром, мантра соціалізму звучить так: “Від кожного за здібностями, кожному за внеском”. Мантра комунізму, найвищої стадії соціалізму, така: “Від кожного за здібностями, кожному за потребами”.

Однак якщо з'являються реплікатори, то від цих мантр залишається тільки: “Кожному за бажаннями”.

Є, щоправда, і третій погляд на це питання. Згідно з Принципом печерної людини, природа людини за останні 100 000 років майже не змінилась. У ті давні часи не було такого поняття, як “робоче місце”. Антропологи кажуть, що примітивні суспільства здебільшого були комунами, де люди ділили набутки й труднощі порівну. Ритм життя визначала не робота й не платня, оскільки ні того, ні іншого не існувало.

Однак у ту давню епоху люди не стали неробами – з кількох причин. По-перше, так вони померли б з голоду. Тих, хто не виконував своєї частки обов'язків, просто виганяли з племені, і невдовзі вони гинули. По-друге, люди почали пишатися своєю працею і навіть знаходити в ній глибший сенс. По-третє, існував величезний соціальний тиск, що спонукав людину залишатися продуктивним членом

суспільства. Продуктивні особи могли одружуватись і передавати свої гени наступному поколінню, тимчасом як гени нероб зазвичай помирали разом із ними.

Отже, що спонукатиме людей вести продуктивне життя після того, як з'являться реплікатори і кожен зможе мати все що завгодно? Передусім реплікатори гарантуватимуть, що ніхто не буде голодувати. Однак водночас більшість людей, імовірно, й далі працюватимуть, тому що вони пишатимуться своїми вміннями і вбачатимуть у своїй праці сенс. Третій чинник – соціальний тиск – зберігати важче, не обмежуючи нічиїх особистих свобод. Замість соціального тиску, ймовірно, потрібна буде якась значна зміна в освіті, щоб змінити ставлення людей до праці й винагороди, аби реплікатором не зловживали.

На щастя, оскільки поступ буде повільний і реплікатор з'явиться не раніше, ніж через сторіччя, люди матимуть удосталь часу, аби обговорити переваги й недоліки цієї технології й пристосуватися до нових реалій, не допустивши розпаду суспільства.

Найімовірніше, перші реплікатори будуть дорогі. Експерт із робототехніки з Массачусетського технологічного інституту Родні Брукс каже: “Нанотехнологія, мабуть, розквітне, так само як розквітла фотолітографія – в дуже дорогих, контрольованих умовах, а не як самостійна загальнодоступна ринкова технологія”.<sup>19</sup> Проблема необмеженого й безкоштовного доступу до матеріальних благ не буде такою вже великою проблемою. Враховуючи складність таких пристроїв, можна припустити, що від появи перших реплікаторів до якогось істотного зниження їхньої вартості мине не одне десятиріччя.

Одного разу я мав цікаву розмову з Жаме Касіо, відомим футурологом, який уже довгий час серйозно роздумує над тим, як виглядатиме майбутнє. Передусім він сказав мені, що сумнівається в теорії сингулярності, згаданій у другому розділі, зазначивши, що людська природа й соціальна динаміка занадто безладні, заплутані й непередбачувані, аби вкластися в одну просту й чітку теорію. Проте Касіо також визнав, що дивовижний поступ у нанотехнологіях може зрештою створити суспільство, де буде всього удосталь, особливо якщо з'являться реплікатори й роботи. Тоді я запитав його: Як поводитиметься суспільство, коли все можна буде мати майже задарма, коли суспільство стане настільки заможним, що працювати не буде потреби?

Відбудуться дві речі, відповів Касіо. По-перше, на його думку, з'явиться достатньо матеріального багатства, щоб гарантувати кож-

ному якийсь пристойний мінімальний дохід, навіть тим, хто не працюватиме. Отже, ймовірно якась частка населення перетвориться на хронічних нероб. Касіо передбачає існування постійної “страхувальної мережі”<sup>\*</sup> для суспільства. Можливо, це й небажано, проте неминуче, особливо якщо реплікатори й роботи задовольнятимуть усі наші матеріальні потреби. По-друге, він вважає, що це компенсуватиметься небувалим розквітом підприємництва. Не боячись більше злиднів і фінансового краху, діяльні люди виявлятимуть ініціативу і братимуть на себе додаткові ризики, створюючи нові галузі й нові можливості для інших. Касіо прогнозує, що суспільство переживе нове відродження, коли творчий дух звільниться від страху перед банкрутством.

Я бачу, що в моїй власній сфері – фізиці – більшість із нас займаються наукою не через гроші, а заради широї радості від нових відкриттів і винаходів. Ми часто відмовляємось від привабливих пропозицій роботи в інших галузях, тому що хочемо залишатися вірними мрії, а не долару. Я знаю, що митці й інтелектуали думають так само, їхня мета – не максимально збільшити свій банківський рахунок, а передусім щось створити й облагороджувати людський дух.

Особисто я вважаю, що якщо до 2100 року суспільство стане настільки заможним, що всі будуть забезпечені матеріальними благами, то суспільство може зреагувати на це так само. Частка населення утворить клас людей, які просто не хотітимуть працювати. Інші ж, звільнившись від страху бідності, зможуть поринути в творчу діяльність у науковій чи мистецькій сфері. Для них щира радість від творення, винаходів та мистецтва переважить спокуси матеріалістичного світу. Однак більшість людей надалі працюватимуть і приносить користь просто тому, що це закладено в їхніх генах – це Принцип печерної людини в нас самих.

Утім, є одна проблема, розв’язати якої не можуть навіть реплікатори. Це проблема енергії. Усі ці чудові технології потребують величезного обсягу енергії. Звідки ж візьметься ця енергія?

---

\* У США “страхувальна мережа” – це система федеральних програм допомоги малозабезпеченим. – *Прим. перекл.*

Кам'яний вік скінчився не тому, що скінчився камінь. і нафтовий вік скінчиться задовго до того, як у світі скінчиться нафта.

– ДЖЕЙМС КЕНТОН

Для мене [ядерний синтез] прирівнюється до первісного дару вогню в імлі доісторичного минулого.

– БЕН БОВА

## 5 МАЙБУТНЄ ЕНЕРГІЇ

### *Енергія зірок*

Зірки були джерелом енергії для богів. Аполлон, проїжджаючи небом на колісниці, запряженій вогнедишними кіньми, освітлював небеса й землю безмежною енергією Сонця. Змагатися в могутності з Аполлоном міг хіба що сам Зевс. Одного разу Семела, одна з численних смертних коханок Зевса, попросила його явитися їй у всій своїй величі, і той неохоче погодився. Сліпучий спалах космічної енергії спалив бідну Семелу.

У цьому сторіччі ми освоїмо енергію зірок – джерело енергії богів. У близькій перспективі це означає початок ери сонячної і водневої енергії, які замінять викопне паливо. Проте в довготерміновій перспективі це означає освоєння енергії ядерного синтезу і навіть сонячної енергії з відкритого космосу. Подальший поступ у фізиці може започаткувати еру магнетизму, коли автомобілі, поїзди й навіть скейтборди плаватимуть у повітрі на магнітній подушці. Споживання енергії може різко скоротитись, оскільки майже вся енергія в автомобілі чи поїзді йде просто на подолання тертя дороги.

## КІНЕЦЬ НАФТИ?

Сьогодні наша планета нерозривно пов'язана з викопним паливом у вигляді нафти, природного газу й вугілля. Загалом світ споживає близько 14 трильйонів ват енергії, з яких 33 відсотки припадає на нафту, 25 – на вугілля, 20 – на газ, 7 – на атомну енергію, 15 – на біопаливо та гідроенергію і лише якісь жалюгідні 0,5 відсотка – на сонячну та інші відновлювальні види енергії.<sup>1</sup>

Без викопного палива механізм світової економіки відразу застопорився б.

Однією людиною, що чітко передбачила кінець нафтової ери, був Кінг Габберт, інженер компанії *Shell Oil*. У 1956 році Габберт виступив перед Американським інститутом нафтової промисловості з далекоглядною лекцією і зробив один тривожний прогноз, із якого всі його колеги тоді просто посміялися. Габберт сказав, що запаси нафти в США вичерпуються так швидко, що незабаром 50 відсотків усієї нафти буде добуто з-під землі, а тоді – десь між 1965 і 1971 роком – розпочнеться незворотна ера занепаду.<sup>2</sup> Він уважав, що весь обсяг нафти в США можна графічно зобразити як дзвоноподібну криву і що в даний момент ми перебуваємо поблизу її верхівки. Далі може бути тільки спад, передбачав він. Це означало, що добувати нафту ставатиме дедалі важче, а отже, станеться немислиме: Сполучені Штати почнуть імпортувати нафту.

Прогноз Габберта здавався зухвалим, навіть диким і безвідповідальним, оскільки Сполучені Штати на той час усе ще добували величезний обсяг нафти в Техасі та в інших місцях. Однак сьогодні нафтовикам уже не до сміху. Габберт влучив просто в десятку. До 1970 року виробництво нафти в США зросло до 10,2 мільйона барелів на добу, а тоді почало спадати. Сягнути знову попереднього рівня вже не вдалося. Сьогодні Сполучені Штати імпортують 59 відсотків нафти. Щобільше, якщо порівняти графік-прогноз Габберта, накреслений кілька десятиріч тому, з графіком реального виробництва нафти в США до 2005 року, то виявиться, що дві криві майже ідентичні.

Сьогодні перед нафтовиками стоїть інше фундаментальне питання: Чи досягнули ми максимального рівня видобутку світових запасів нафти? Тоді, 1956 року, Габберт також передбачив, що світове виробництво нафти сягне піку приблизно через п'ятдесят років. Можливо, він і в цьому мав рацію. Коли наші діти озиратимуться на нашу епоху, то чи не сприйматимуть вони викопне паливо так само,

як ми сьогодні сприймаємо китовий жир, – як недоречний пережиток далекого минулого?

Мені неодноразово доводилось виступати з лекціями в Саудівській Аравії й по всьому Близькому Сходу, і я говорив про науку, енергію й майбутнє. З одного боку, Саудівська Аравія має 267 мільярдів барелів нафти, тож ця країна немов плаває по величезному підземному озеру сирої нафти. Подорожуючи Саудівською Аравією і країнами Перської затоки, я був свідком неймовірного марнотратства енергії: посеред пустелі там б'ють височенні фонтани, утворюючи велетенські штучні ставки й озера. В Дубаї навіть є критий лижний спуск із тисячами тон штучного снігу, попри жажливу спеку назавні.

Однак тепер міністри нафтової промисловості стривожені. За всією риторикою про “розвідані запаси нафти”, призначеною запевнити нас, що в найближчі десятиріччя нафти буде вдосталь, відчувається усвідомлення, що багато з цих авторитетних нафтових показників – насправді лише окозамилування. “Розвідані запаси нафти” – це звучить упевнено й заспокійливо, доки не починаєш усвідомлювати, що ці запаси часто є лише витвором уяви конкретного міністра нафтової промисловості і результатом політичного тиску.

Розмовляючи з експертами в енергетичній галузі, я бачив, що всі вони поступово схиляються до однієї думки: сьогодні ми перебуваємо або на піку Габбертової кривої світового виробництва нафти, або ж за якихось десять років від цієї фатальної точки. Це означає, що вже в близькому майбутньому ми можемо вступити в період незворотного занепаду.

Звісно, запаси нафти ніколи не вичерпаються повністю. Весь час знаходяться якісь нові родовища. Однак вартість добування й очищення нафти поступово сягне космічного рівня. Так, Канада має величезні поклади нафтоносних пісків, нафти з яких вистачило б для цілого світу на кілька десятиріч, проте добувати й очищати цю нафту не вигідно. Сполучені Штати мають запаси вугілля, яких стало б, мабуть, років на 300, однак використання вугілля обмежене законодавством, і вартість його очищення від усіх твердих і газоподібних забруднювальних домішок доволі обтяжлива.

До того ж нафту й надалі знаходять у політично нестабільних регіонах світу, і це посилює міжнародну нестабільність. Графік ціни на нафту за останні десятиріччя нагадує американські гірки: 2008 року ціна нафти сягнула піку на позначці 140 доларів за барель (і понад 4 долари за галон бензину на запрапці), а потім різко впала через світову еконо-



мічну кризу. Попри різкі коливання ціни на нафту, зумовлені політичною нестабільністю, спекуляцією, чутками тощо, одне ясно: у довготривалій перспективі середня ціна нафти й надалі зростатиме.

Це матиме серйозні наслідки для світової економіки. Стрімкий розвиток сучасної цивілізації в двадцятому сторіччі був пов'язаний з двома чинниками: дешевою нафтою і законом Мура. Якщо ціна енергоносіїв зростатиме, то зростатиме й тиск на світове виробництво продовольства, а також на захист довкілля. Письменник Джеррі Пурнель сказав: "Їжа й екологія – не первинні проблеми, це проблеми, пов'язані з нестачею енергії. Якщо ми матимемо достатньо енергії, то зможемо виготовити стільки їжі, скільки схочемо, а як буде потреба – то й інтенсивними методами, такими, як гідропоніка й теплиці. Те саме стосовно екології: якщо ми матимемо достатньо енергії, то зможемо переробляти забруднювачі на нешкідливі продукти, а за потреби – розкласти на складові"<sup>3</sup>.

Крім того, перед нами стоїть ще одна проблема: становлення середнього класу в Китаї та Індії. Це одна з найбільших демографічних змін повоєнної епохи, що створює величезний тиск на ціни на нафту та інші товари, якими торгують на біржах. Надивившись у голлівудських фільмах на гамбургери з *Макдональдсу* й гаражі на два авта, нові представники середнього класу теж захочуть спізнати американську мрію про бездумне споживання енергії.

## **БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)**

### **ЕКОНОМІКА НА СОНЯЧНІЙ/ВОДНЕВІЙ ЕНЕРГІЇ**

У цьому сенсі історія, схоже, повторюється. На початку 1900-х років Генрі Форд і Томас Едісон, двоє давніх друзів, побилися об заклад стосовно того, яка форма енергії домінуватиме в майбутньому. Генрі Форд уважав, що це буде нафта, яка замінить вугілля, і двигун внутрішнього згоряння, який прийде на зміну паровим двигунам. Томас Едісон зробив ставку на електромобіль. Це було доленосне парі, результат якого мав серйозно вплинути на світову історію. Якийсь час здавалося, що виграє Едісон, оскільки добувати китовий жир було надзвичайно складно. Однак незабаром на Близькому Сході та в ін-

ших місцях виявили поклади дешевої нафти, і це схилило терези на користь Форда. Відтоді світ уже ніколи не був таким, як раніше. Електричні акумулятори істотно програвали феноменальному успіхові бензину. (Навіть сьогодні бензин містить у середньому в сорок разів більше енергії, ніж електричний акумулятор з такою самою масою.)

Однак тепер терези помалу починають хилитися в інший бік. Можливо, Едісон таки й виграє – сторіччя по тому, як вони з Фордом заклалися.

Питання, яке сьогодні ставлять в урядових і промислових колах, звучить так: Що замінить нафту? Чіткої відповіді наразі немає. У близькому майбутньому замінити викопне паливо буде нічим, відтак найімовірніше, що енергію добуватимуть одночасно з різних джерел і жодний її вид не переважатиме над іншими.

Утім, найперспективнішим наступником видається сонячна/воднева енергія (тобто енергія, що ґрунтується на відновлювальних технологіях, – сонячна енергія, енергія вітру, енергія води і воднева енергія).

Сьогодні електрика, яку генерують сонячні елементи, у кілька разів дорожча за електрику, одержану за допомогою вугілля. Проте завдяки стабільному технологічному розвитку вартість сонячної/водневої енергії постійно знижується, водночас вартість викопного палива поступово зростає. Експерти припускають, що через десять-п'ятнадцять років обидві криві перетнуться. Решту зроблять ринкові механізми.

## ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

У близькому майбутньому активно розвиватимуть технології, що використовують відновлювальні види енергії, зокрема енергію вітру. Сукупна потужність усіх вітрових електростанцій світу зросла від 17 мільярдів ват у 2000 році до 121 мільярда ват у 2008 році. Енергія вітру, яку колись уважали малозначущим гравцем на енергетичному ринку, тепер набуває щораз більшої ваги. Недавній поступ у технологіях вітрових турбін підвищив ефективність і продуктивність вітрових електростанцій, і тепер це один із найдинамічніших секторів енергетичного ринку.

Сучасні вітрові електростанції не йдуть у жодне порівняння з давніми вітряками, що забезпечували енергією сільські господарства й млини наприкінці дев'ятнадцятого сторіччя. Один вітровий генератор може давати 5 МВт електроенергії – цього достатньо для невеличкого

містечка; водночас він безпечний і не забруднює довкілля. Вітрова турбіна має величезні гладенькі лопасті, приблизно 100 футів завдовжки, що обертаються майже без тертя. Вітрові турбіни створюють електрику так само, як гідроелектростанції чи велосипедні генератори. Вітер обертає лопасті турбіни – і водночас магніт усередині котушки. Від обертання магнітного поля в котушці виникає електричний струм. Велика вітрова електростанція, що складається зі 100 вітряків, може генерувати 500 МВт електроенергії – це лише вдвічі менше за 1000 МВт, що їх генерує одна вугільна чи атомна електростанція.

Упродовж кількох останніх десятиріч світовим лідером у розвитку вітроенергетичних технологій була Європа. Однак останнім часом Сполучені Штати перегнали Європу у виробництві вітрової електроенергії. У 2009 році Сполучені Штати виробили на вітрових електростанціях лише 28 мільярдів ват електроенергії. Проте сам тільки Техас виробляє таким способом 8 мільярдів ват і, крім того, вже будує нові вітрові електростанції загальною потужністю 1 мільярд ват, а планує побудувати ще більше. Якщо все піде за планом, то Техас одержуватиме від вітрових електростанцій 50 мільярдів ват електроенергії – цього більше ніж достатньо, аби задовольнити потреби штату з населенням 24 мільйони осіб.

Китай невдовзі перевершить Сполучені Штати за виробництвом вітрової електроенергії.<sup>4</sup> У межах програми *Wind Base* там збудують шість вітрових електростанцій загальною потужністю 127 мільярдів ват.

Хоч енергія вітру виглядає дедалі привабливіше і її використання в майбутньому, безперечно, зростатиме, вона не може стати головним джерелом енергії для всього світу. В найкращому разі вона стане невіддільною складовою ширшого спектру джерел енергії. Вітрові електростанції мають кілька недоліків. Вони можуть працювати тільки в певні періоди – коли дме вітер – і тільки в певних регіонах світу. Крім того, через втрати при передачі електроенергії вітрові електростанції доводиться розташовувати поблизу великих міст, а це ще більше обмежує можливості їх використання.

## HERE COMES THE SUN\*

Уся енергія так чи інакше походить від Сонця. Навіть нафта й вугілля – це, в якомусь сенсі, концентроване сонячне світло, енергія,

\* Назва пісні *The Beatles*. – Прим. перекл.

яку ввібрали в себе рослини й тварини мільйони років тому. Як наслідок, обсяг концентрованої сонячної енергії, що міститься в галоні бензину, значно більший, ніж той, який можна зберігати в електричному акумуляторі. З цією фундаментальною проблемою зіткнувся Едісон у минулому сторіччі, і вона залишається нерозв'язаною до сьогодні.

Сонячні елементи перетворюють сонячне світло безпосередньо на електрику. (Цей процес пояснив Айнштайн 1905 року. Частинка світла, або фотон, потрапляючи на метал, вибиває з нього електрон і таким чином створює електричний струм.)

Однак сонячні елементи неефективні. Навіть після десятиріч напоегливої праці інженерів і науковців ефективність сонячних елементів коливається довкола 15 відсотків. Тому дослідження тепер ведуться в двох напрямках. Перший – підвищення ефективності сонячних елементів, а це дуже складна технічна задача. Другий – зниження вартості виробництва та встановлення сонячних елементів, а також будівництво сонячних електростанцій.

Приміром, можна було б повністю задовольнити потреби Сполучених Штатів в електриці, вкривши сонячними елементами весь штат Аризона, але це непрактично. Втім, права власності на великі ділянки пустелі Сахара раптом стали гарячою темою, і інвестори вже будують у цій пустелі великі сонячні електростанції, щоб задовольнити потреби європейських споживачів.

У великих містах можна було б знизити вартість сонячної енергії, вкривши сонячними елементами дахи й стіни будинків. Таке вирішення має кілька переваг, у тому числі заощаджує втрати енергії, які мають місце при її транспортуванні від електростанції до споживача. Проблема полягає у вартості. Навіть побіжний розрахунок показує, що аби ці проекти були прибутковими, довелося б рахувати кожний долар.

Поки що сонячна енергія не виправдала надій, які на неї поклали, однак нестабільність цін на нафту змусила підприємців активізувати зусилля, щоб такі вивести сонячну енергію на ринок. Можливо, невдовзі ситуація зміниться. Що кілька місяців ми дізнаємося про нові рекорди. Виробництво сонячної електроенергії зростає на 45 відсотків річно, тобто приблизно подвоюється що два роки. Сукупна потужність сонячних батарей у цілому світі сьогодні становить 15 мільярдів ват, і тільки 2008 року вона зросла на 5,6 мільярда ват.

У 2008 році компанія *Florida Power & Light* оголосила про будівництво найбільшої в Сполучених Штатах сонячної електростанції. Контракт уклали з корпорацією *SunPower*, яка планує виробляти 25 МВт електроенергії. (На сьогодні рекорд у Сполучених Штатах належить військово-повітряній базі Нелліс у Неваді, чия сонячна електростанція генерує 15 МВт електроенергії.)

У 2009 році корпорація *BrightSource Energy* з головним офісом в Окленді, штат Каліфорнія, оголосила про намір побити цей рекорд, побудувавши чотирнадцять сонячних електростанцій загальною потужністю 2,6 мільярдів ват на території Каліфорнії, Невади й Аризони.

Один із проектів *BrightSource Energy* – сонячна електростанція Айвенпа в Південній Каліфорнії, що складатиметься з трьох геліо-термічних блоків, які разом продукуватимуть 440 МВт електроенергії. Спільно з компанією *Pacific Gas and Electric* корпорація *BrightSource Energy* планує побудувати станцію потужністю 1,3 мільярдів ват в пустелі Мохаве.

У 2009 році компанія *First Solar*, найбільший у світі виробник сонячних елементів, оголосила, що збудує найбільшу в світі сонячну електростанцію на північ від Великої Китайської стіни. Десятирічний контракт, деталі якого наразі ще узгоджуються, передбачає створення величезного сонячного комплексу, який міститиме 27 мільйонів тонкоплівкових сонячних панелей загальною потужністю 2 мільярди ват; це дорівнює потужності двох вугільних електростанцій, і цієї енергії було б достатньо для 3 мільйонів будинків. Станція займатиме двадцять п'ять квадратних миль на території Внутрішньої Монголії і фактично буде частиною значно більшого енергетичного комплексу. Китайські чиновники стверджують, що сонячна електростанція – лише один компонент цього комплексу, який сукупно вироблятиме 12 мільярдів ват електроенергії з різних відновлювальних джерел – вітру, сонця, біомаси та гідроенергії.

Час покаже, чи зможуть ці амбітні проекти пройти екологічну експертизу й розв'язати проблему високої вартості енергії, однак важливо те, що економіка сонячної енергії поступово змінюється, і великі компанії вже серйозно розглядають цю енергію як конкурентоспроможну альтернативу електростанціям на викопному паливі.

## ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ

Приблизно половину світового видобутку нафти споживають автомобілі, поїзди й літаки – відтак існує величезна зацікавленість у реформуванні цього сектора економіки. Сьогодні точиться боротьба за майбутнє лідерство в автомобільній індустрії – після того як країни здійснять історичний перехід від викопного палива до електрики. Цей перехід поділяється на декілька стадій. Перша стадія – це гібридний автомобіль, що вже з'явився на ринку; він працює і на електриці, і на бензині. Ця модель має невеличкий двигун внутрішнього згоряння, що призначений розв'язати давню проблему електричних акумуляторів: складно виготовити акумулятор, який міг би забезпечувати достатньо довгі дистанції і миттєво збільшувати швидкість.

Однак гібрид – це лише перший крок. Приміром, гібрид із можливістю підмикання до електромережі має достатньо потужний акумулятор, аби проїхати на електриці перші п'ятдесят миль чи десь так, не перемикаючись на бензиновий двигун. Оскільки більшість людей їздить на роботу чи по покупки в межах цієї відстані, це означає, що такі автомобілі весь цей час можуть їздити лише на електриці.

Один важливий претендент на лідерство серед гібридних автомобілів – автомобіль *Chevy Volt* виробництва *General Motors*. Це авто може проїхати 40 миль лише на іонно-літєвому акумуляторі і ще 300 миль на невеличкому бензиновому двигуні.

А крім того, є ще проект *Tesla Roadster*, що взагалі не має бензинового двигуна. Цей автомобіль виготовила компанія *Tesla Motors* із Кремнієвої Долини – єдина компанія в Північній Америці, що налагодила серійне виробництво повністю електричних автомобілів. *Roadster* – це елегантне спортивне авто, що може позмагатися на шляху з будь-яким авто на бензині, розвінчуючи міф про те, що іонно-літєві акумулятори не можуть конкурувати з бензиновими двигунами.

Я мав нагоду поїздити у двомісному *Tesla*, що належить Джону Гендріксу – засновнику компанії *Discovery Communications*, материнської компанії телеканалу *Discovery*. Я сів за кермо, і пан Гендрікс наполіг, щоб я натиснув педаль акселератора до межі, аби випробувати, на що здатне його авто. Я послухався – й відразу відчув різке збільшення швидкості. Моє тіло втиснулося в сидіння – авто розігналось до 60 миль на годину лише за якихось 3,9 секунди. Одна річ – слухати, як якийсь інженер розхвалює можливості повністю

електричних автомобілів, а зовсім інша – натиснути на акселератор і відчувати все самому.

Успішний вихід автомобіля *Tesla* на ринок змусив головних автовиробників переглянути своє ставлення до електромобілів, до яких вони десятиріччями були налаштовані скептично. Роберт Лутц, перебуваючи на посаді віце-президента компанії *General Motors*, сказав: “Усі генії тут у *General Motors* постійно твердили, що до іонно-літієвої технології ще з десятків років, і *Toyota* з нами погоджувалась, – і раптом з’являється *Tesla*. І я запитав: «Як так сталося, що якась малесенька каліфорнійська компанія-початківець, чиї керівники нічого не тямлять в автомобільному бізнесі, змогла це зробити, а ми не змогли?»”<sup>55</sup>

Компанія *Nissan Motors* має найбільше шансів першою представити повністю електричний автомобіль пересічному споживачеві. Її розробка з назвою *Leaf* може проїхати на одній зарядці 100 миль, має максимальну швидкість 90 миль за годину і працює суто на електриці.

Наступним після повністю електричного автомобіля в автосалонах з’явиться автомобіль на паливних елементах, який іноді називають автомобілем майбутнього. У червні 2008 року компанія *Honda Motor* оголосила про дебют першого в світі комерційного автомобіля на паливних елементах – *FXC Clarity*. Він може проїхати на одній зарядці 240 миль із максимальною швидкістю 100 миль за годину й має всі зручності стандартного чотиридверного седана. Паливом цьому автомобілю слугує простий водень; він не потребує ні бензину, ні електрики. Однак, оскільки інфраструктури для водневих автомобілів поки що немає, це авто в Сполучених Штатах можна орендувати лише в Південній Каліфорнії.

Потім 2009 року компанія *General Motors*, оголошувшись після процесу банкрутства й повної заміни керівництва, оголосила, що її автомобіль на паливних елементах *Chevy Equinox* на тестуваннях проминув позначку в мільйон миль. Упродовж минулих двадцяти п’яти місяців 5 000 осіб випробовували 100 таких автомобілів. Детройт, що хронічно відстає від Японії у створенні малогабаритних автомобілів і гібридів, намагається створити собі плацдарм на майбутнє.

На перший погляд автомобіль на паливних елементах – це ідеальний автомобіль. У паливних елементах енергія від окислення водню перетворюється безпосередньо на електроенергію, залишаючи єдиний побічний продукт – воду. Такий автомобіль не продукує ані грама шкідливих газів. Вихлопна труба автомобіля на паливних еlemen-

тах справляє майже моторошне враження. Замість клубів токсичного диму з неї виходять лише краплі води без кольору й запаху.

“Закриваєш вихлопну трубу долонею – і на ній залишається тільки вода. Це таке класне відчуття!” – зауважив Майк Швабл, котрий випробовував *Equinox* десять днів.<sup>6</sup>

Технологія паливних елементів – не новина. Її базовий принцип було продемонстровано ще 1839 року. НАСА десятиріччями використовує паливні елементи для своїх приладів у космосі. Новим є тільки рішуче бажання автовиробників збільшувати виробництво таких автомобілів і знижувати їхню вартість.

Перед автомобілем на паливних елементах стоїть ще й інша проблема – та сама, що дошкуляла Генрі Форду, коли той випустив на ринок модель *Ford T*. Критики твердили, що бензин небезпечний, що люди гинутьимуть у жахливих аваріях, згораючи живцем. Крім того, бензинові колонки доведеться ставити мало не в кожному кварталі. У цьому всьому критики мали рацію. Люди й справді щороку гинуть тисячами в страшних автокатастрофах, і автозаправні станції стоять усюди, куди не глянь. Однак автомобілі настільки зручні й вигідні, що люди ігнорують ці факти.

Тепер такі самі заперечення висловлюють стосовно автомобілів на паливних елементах. Водневе паливо легке й вибухонебезпечне, і водневі заправки доведеться споруджувати мало не в кожному кварталі. Найімовірніше, критики знову мають рацію. Проте, щойно з'явиться відповідна інфраструктура, людям так сподобаються автомобілі на паливних елементах, які не забруднюють довкілля, що вони не зважатимуть на ці факти. Сьогодні на всій території Сполучених Штатів налічується лише якихось сімдесят заправних станцій для автомобілів на паливних елементах. Оскільки такий автомобіль може проїхати без заправки близько 170 миль, це означає, що водій мусить уважно стежити за індикатором рівня палива. Втім, ситуація поступово зміниться – особливо якщо ціна автомобілів на паливних елементах почне падати зі зростанням масового виробництва й розвитком технологій.

Однак головна проблема електромобілів полягає в тому, що електричний акумулятор не створює енергії з нічого. Акумулятор треба заряджати, й ця електрика зазвичай походить із вугільних електростанцій. Тож хоч сам електромобіль і не забруднює довкілля, первинним джерелом енергії для нього служить таки викопне паливо.



Водень – не самодостатнє джерело енергії. Радше, це передавач енергії. Водень спочатку треба створити. Так, аби розділити воду на водень і кисень, потрібна електрика. Отже, хоч автомобілі на електриці і паливних елементах обіцяють нам чисте повітря в майбутньому, залишається та проблема, що енергія, яку вони споживають, здебільшого утворюється від спалювання вугілля. Так чи інакше, ми впираємося в перший закон термодинаміки: загальний обсяг матерії й енергії неможливо ні знищити, ні створити з нічого. Неможливо одержати щось із нічого.

Це означає, що при переході від бензину до електрики ми мусимо замінити енергію, яку виробляють вугільні електростанції, абсолютно новою формою енергії.

## РОЗЩЕПЛЕННЯ АТОМНОГО ЯДРА

Створювати енергію, а не просто переносити її з одного місця в інше, можна, розщепляючи атом урану. Перевага атомної енергії полягає в тому, що при її виробництві не утворюється великих кількостей парникових газів, як при спалюванні вугілля й нафти, однак розвиток атомної енергетики ось уже кілька десятиріч стримують технічні й політичні проблеми. Останню атомну електростанцію в Сполучених Штатах почали будувати 1977 року, незадовго до фатальної аварії на Три-Майл-Айленд 1979 року, яка поставила хрест на майбутньому комерційної атомної енергетики. Жахлива катастрофа в Чорнобилі 1986 року паралізувала розвиток атомної енергетики на ціле покоління. У Сполучених Штатах і в більшості країн Європи атомні проекти вмерли, а у Франції, Японії й Росії ледь жевріли лише завдяки щедрим державним субсидіям.

Проблема атомної енергії полягає в тому, що при розщепленні атома урану утворюється величезна кількість атомних відходів, що залишаються радіоактивними від тисяч до десятків мільйонів років. Стандартний реактор потужністю 1 000 мегават продукує за рік близько тридцяти тон високоактивних атомних відходів. Вони настільки радіоактивні, що буквально світяться в темряві, і їх доводиться зберігати у спеціальних охолоджувальних басейнах. У Сполучених Штатах є близько 100 комерційних реакторів – відповідно, щороку вони продукують тисячі тон високоактивних ядерних відходів.

Ядерні відходи становлять проблему з двох причин. По-перше, вони залишаються гарячими навіть після зупинки реактора. Якщо з якоїсь причини подача води в систему охолодження припиниться, – як сталося на атомній електростанції Три-Майл-Айленд, – то активна зона реактора почне плавитись. Якщо на цей розплавлений метал потрапить вода, це може спричинити паровий вибух, від якого реактор розлетиться на друзки, викинувши в повітря тони радіоактивних уламків. У випадку найгіршої атомної аварії 9-го рівня довелось б негайно евакуювати, можливо, мільйони людей з 10–50-мильної зони навколо реактора. Атомна станція Індіан-Пойнт розташована лише в 24 милях на північ від Нью-Йорка. Згідно з одним урядовим дослідженням, аварія на станції Індіан-Пойнт, імовірно, коштувала б державі сотні мільярдів доларів тільки у вигляді компенсацій за зруйноване майно. На Три-Майл-Айленд реактор був уже на межі страшної катастрофи, яка б спустошила весь північний схід країни. Працівники станції зуміли відвернути лихо, відновивши подачу води в систему охолодження активної зони за якихось півгодини до того, як температура там мала досягнути точки плавлення двоокису урану.

У Чорнобилі поблизу Києва ситуація була значно гірша. Механізм безпеки (керувальні стрижні) працівники станції вимкнули вручну. Відбувся невеличкий стрибок потужності, що вивів реактор з-під контролю. Коли на розплавлений метал потрапила холодна вода, стався вибух пари, що зірвав увесь верх реактора й викинув у повітря велику частину активної зони. Багато робітників, яких послали на станцію ліквідувати аварію, пізніше померли в страшних муках від радіаційних опіків. Реактор горів, і для гасіння пожежі довелось залучити військово-повітряні сили. Гелікоптери зі спеціальним екрануванням поливали палаючий реактор борованою водою. Врешті-решт активну зону довелось замурувати в бетонний саркофаг. Вона залишається нестабільною до сьогодні й далі виділяє тепло та радіацію.

Окрім загрози плавлення активної зони й вибухів, є ще проблема радіоактивних відходів. Куди їх подіти? Прикро, але відповіді на це питання досі немає, хоча від початку атомної епохи минуло вже півсторіччя. У минулому держави припустилися низки дорогих помилок, намагаючись позбутися ядерних відходів. Спочатку Сполучені Штати й Росія просто скидали ці відходи в океан або ж ховали в неглибоких шахтах. У 1957 році одне сховище плутонієвих відходів на Уралі навіть вибухнуло з катастрофічними наслідками: радіація по-

ширилась по території площею 400 квадратних миль між Свердловськом і Челябінськом, і людей звідти довелося масово евакуювати.

У 1970-х роках Сполучені Штати пробували захоронювати високоактивні ядерні відходи в Лайонсі, штат Канзас, у соляних шахтах. Однак пізніше з'ясувалося, що соляні шахти для цього непридатні, оскільки всіяні численними отворами, пробуреними при пошуках нафти й газу. Сполучені Штати були вимушені закрити сховище в Лайонсі – і вернулися до початкової точки.

Упродовж наступних двадцяти п'яти років Сполучені Штати витратили 9 мільярдів доларів на проектування й будівництво величезного центру для захоронення ядерних відходів Юкка-Маунтин у штаті Невада, а 2009 року президент Барак Обама заклав цей проект. Геологи заявили, що в Юкка-Маунтин ядерні відходи, мабуть, не зможуть зберігатися 10 000 років. Тож сховище Юкка-Маунтин не відкриється, і комерційні оператори атомних електростанцій далі залишаються без постійного сховища для радіоактивних відходів.

Сьогодні майбутнє атомної енергії виглядає туманно. Інвестори на Волл-Стріт, як і раніше, побоюються вкладати по кілька мільярдів доларів у кожен нову атомну електростанцію, хоч атомники стверджують, що нове покоління атомних електростанцій безпечніше за попередні. Тим часом міністерство енергетики ще остаточно не визначилося стосовно атомної енергії.

## РОЗПОВСЮДЖЕННЯ АТОМНОЇ ЗБРОЇ

Однак де велика потужність, там і велика небезпека. У скандинавській міфології, приміром, вікінги поклонялися Одіну, котрий правив Асгардом мудро й справедливо. Одін головував над цілим легіоном богів, у тому числі й над героєм Тором, чий честь і відвага були прикладом для кожного воїна. Проте серед богів був також Локі, бог бешкету, якого постійно мучила заздрість і ненависть. Він був великим майстром обману й інтриг. Урешті-решт Локі змовився з велетнями влаштувати остаточну битву між Світлом і Тьмою – епічний Рагнарок, сутінки богів.

Проблема сьогодні полягає в тому, що заздрість і ненависть між країнами можуть розв'язати ядерний Рагнарок. Історія засвідчила, що якщо країна опанувала комерційні атомні технології, то така країна може – якщо матиме на те бажання й політичну волю – перейти до ви-

робництва атомної зброї. Небезпечно те, що технології виробництва атомної зброї можуть потрапити в найнестабільніші регіони світу.

У час Другої світової війни тільки найпотужніші держави світу володіли відповідними ресурсами, ноу-хау і можливостями для створення атомної бомби. Однак у майбутньому цей поріг може різко знизитись, оскільки вартість збагачення урану падає завдяки впровадженню нових технологій. Отже, нам загрожує те, що завдяки новішим і дешевшим технологіям атомна бомба може опинитися в ненадійних руках.

Ключ до створення атомної бомби – добути велику кількість уранової руди й очистити її. Це означає відокремити уран-238 (що становить 99,3 відсотка природного урану) від урану-235, що придатний для атомної бомби, але становить лише 0,7 відсотка природного урану. Ці два ізотопи хімічно ідентичні, тому єдиний спосіб надійно відділити їх один від одного – скористатись тим фактом, що уран-235 важить приблизно на 1 відсоток менше, ніж його родич.

У час Другої світової війни єдиним способом розділити два ізотопи урану був доволі трудомісткий процес газової дифузії: уран перетворювали на газ (гексафторид урану), а тоді проганяли через сотні миль трубок і мембран. Наприкінці цієї довгої подорожі швидший (а отже, й легший) уран-235 приходив до фінішу першим, залишаючи важчий уран-238 позаду. Газ, що містив уран-235, вилучали й повторювали весь процес наново, аж доки рівень збагаченого урану-235 зростав від 0,7 відсотка до 90 відсотків, що відповідає умовам створення бомби. Однак, щоб проганяти газ через трубки й мембрани, потрібно було дуже багато енергії. У час війни значна частка виробленої електроенергії в США спрямовувалась в Окріджську національну лабораторію саме для цієї мети. Комплекс, де збагачували уран, був величезний, займав 2 мільйони квадратних футів, і в ньому працювало 12 000 осіб.

Після війни тільки наддержави – Сполучені Штати і Радянський Союз – змогли накопичити величезні арсенали атомної зброї – майже по 30 000 бомб – завдяки тому, що вони опанували мистецтво газової дифузії. Проте сьогодні лише 33 відсотки всього збагаченого урану в світі виготовляють методом газової дифузії.

Збагачувальні установки другого покоління використовують досконалішу й дешевшу технологію – ультрацентрифуги, чия поява спричинила серйозні зміни в світовій політиці. Ультрацентрифуга може розкрутити капсулу з ураном до швидкості 100 000 обертів за хвилину. У таких умовах один відсоток різниці в масі між ураном-235 і

ураном-238 стає достатньо істотним. За якийсь час уран-238 осідає на дно капсули, а з верхньої частини трубки можна вилучати уран-235.

Із погляду енерговитрат ультрацентрифуги в п'ятдесят разів ефективніші за газову дифузію. Сьогодні цим способом очищують близько 54 відсотків усього світового урану.

Аби виготовити збагаченого урану на одну бомбу, достатньо, щоб лише 1000 ультрацентрифуг неперервно працювали впродовж року. Технологію збагачення урану за допомогою ультрацентрифуг легко можна викрасти. Один із найгірших витоків інформації в сфері ядерної безпеки стався тоді, коли нікому не відомий інженер А. К. Хан спромігся викрасти й продати креслення ультрацентрифуги й деяких компонентів атомної бомби. У 1975 році він, працюючи в Амстердамі в компанії *URENCO*, яку створили Велика Британія, Західна Німеччина й Нідерланди, щоб забезпечувати ураном європейські реактори, передав ці секретні креслення пакистанському урядові, який пізніше прославляв його як національного героя; крім того підозрюють, що Хан продав цю секретну інформацію Саддаму Хусейну, а також урядам Ірану, Північної Кореї та Лівії.

Скориставшись викраденою технологією, Пакистан зумів створити невеличкий арсенал атомної зброї і 1998 року почав її випробовувати. Між Пакистаном та Індією виникло ядерне суперництво – кожна з двох країн здійснила кілька випробувальних вибухів. Це суперництво мало не закінчилось ядерним конфліктом.

Мабуть, саме завдяки технологіям, купленим у А. К. Хана, Іран, як кажуть, пришвидшив свою ядерну програму, збудувавши до 2010 року 8000 ультрацентрифуг; у його планах – побудувати ще 30 000. Це посилює тиск на інші країни Близького Сходу і змушує їх створювати власні атомні бомби, поглиблюючи нестабільність у регіоні.

Друга причина, чому геополітика двадцять першого сторіччя може змінитися, полягає в тому, що сьогодні в гру вступає нове покоління технологій збагачення – лазерне збагачення, яке в перспективі має стати навіть дешевшим, ніж ультрацентрифуги.

Якщо поглянути на електронні оболонки двох ізотопів урану, то на перший погляд вони здаються однаковими, оскільки ядро має той самий заряд. Однак якщо уважно проаналізувати рівняння електронних оболонок, то з'ясується, що між енергіями електронних оболонок урану-235 і урану-238 є малесенька різниця. Високо монохроматичним лазерним променем можна вибивати електрони з оболонок атомів урану-235, але не урану-238. Коли атоми урану-235 іонізу-

ються, їх легко відділити від атомів урану-238 за допомогою електричного поля.

Проте різниця в енергії між двома ізотопами така мала, що чимало країн намагалися скористатися нею, але так і не зуміли. У 1980-х і 1990-х роках Сполучені Штати, Франція, Велика Британія, Німеччина, Південна Африка і Японія марно намагалися опанувати цю складну технологію. У Сполучених Штатах в одному проекті було залучено 500 науковців, і його кошторис становив 2 мільярди доларів.

Однак 2006 року австралійські науковці оголосили, що не тільки розв'язали цю задачу, а й мають намір комерціалізувати результат. Оскільки 30 відсотків вартості уранового палива припадає на процес збагачення, то, на думку австралійської компанії *Silex*, на цю технологію може бути попит на ринку. *Silex* навіть уклала контракт із *General Electric*, аби розпочати комерціалізацію. Вони сподіваються, що з часом цим методом виготовлятимуть до третини всього світового урану. У 2008 році компанія *GE Hitachi Nuclear Energy* оголосила про плани побудувати до 2012 року першу комерційну установку з лазерного збагачення урану в місті Вілмінгтон, штат Північна Кароліна. Завод займатиме 200 акрів на ділянці загальною площею 1600 акрів.<sup>7</sup>

Для атомної галузі це добра новина, тому що в такому разі вартість збагаченого урану в наступні кілька років знизиться. Однак інші непокояться, оскільки рано чи пізно ця технологія проникне в нестабільні регіони світу. Іншими словами, саме час підписати угоди про обмеження й регулювання потоків збагаченого урану, бо потім може бути запізно. Якщо ми не візьмемо цю технологію під контроль, то атомні бомби далі поширюватимуться світом і навіть можуть потрапити до рук терористів.

Одним із моїх знайомих був покійний Теодор Тейлор, який вирізнявся тим, що проектував деякі найбільші й найменші ядерні боєголовки для Пентагону. Серед його розробок була система *Дейві Крокетт*, що важила лише п'ятдесят фунтів, однак могла пустити в противника невеличку атомну бомбу. Тейлор був таким завзятим прибічником атомних бомб, що навіть працював у проекті *Оріон*, який мав на меті використати атомні бомби як двигун для космічного корабля, щоб той долетів до ближніх зірок. Тейлор обчислив: якщо правильно скидати атомні бомби ззаду космічного корабля, то ударна хвиля від цих вибухів може розігнати його майже до швидкості світла.

Одного разу я спитав Тейлора, чому він утратив інтерес до проектування атомних бомб і перемкнувся на сонячну енергетику. Той

зійнявся, що його постійно переслідує один кошмар. Йому здавалося, що його робота над ядерною зброєю веде до одного: створення ядерних боеголовки третього покоління. (Боеголовки першого покоління в 1950-х роках були величезні, і їх було складно доправити до мішені. Боеголовки другого покоління в 1970-х роках були невеликі, компактні, і в носовий обтічник ракети їх умістилося б із десятків. Бомби ж третього покоління – це бомби “на замовлення”, спеціально пристосовані функціонувати в різних середовищах: у лісі, в пустелі й навіть у відкритому космосі.) Одна з цих бомб третього покоління – мініатюрна атомна бомба, настільки мала, що якийсь терорист міг би привезти її у валізі й знищити ціле місто. Думка, що справою всього його життя можуть колись скористатися терористи, мучила Тейлора до кінця його днів.

## **СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)**

### **ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ**

До середини сторіччя закономірний наслідок економіки на вичерпному паливі – глобальне потепління – виявиться повною мірою. Сьогодні вже немає жодних сумнівів у тому, що Земля нагрівається. За останні сто років температура Землі підвищилась на 1,3° F, і темп її зростання пришвидшується. Ознаки глобального потепління незаперечні:

- Лише за минулі п'ятдесят років товщина арктичної криги зменшилась на цілих 50 відсотків. Більшість арктичної криги має температуру лише трошки нижчу від точки замерзання й плаває по воді. Відтак ця крига дуже чутлива до незначних коливань температури океанів і слугує, як канарка в шахті, системою раннього попередження. Сьогодні північна полярна шапка частково розтає в літні місяці й може розтанути повністю вже влітку 2015 року. До кінця цього сторіччя полярна льодова шапка може зникнути назавжди, що призведе до зміни океанських течій і пові-

тряних потоків довкола планети, а отже, й до порушення звичних погодних умов у всьому світі.

- Гренландські шельфові льодовики за 2007 рік зменшились на двадцять чотири квадратні милі. У 2008 році цей показник зріс до сімдесяти однієї квадратної милі.<sup>8</sup> (Якби вся крига Гренландії з якоїсь причини розтала, то рівень океану в цілому світі піднявся б приблизно на 20 футів.)
- Від крижаного покриву Антарктики, що залишався стабільним десятки тисяч років, поступово відколюються великі шматки. У 2000 році відколовся шмат завбільшки з штат Коннектикут площею 4200 квадратних миль. У 2002 році від льодовика Туейтса відколовся шмат завбільшки з Род-Айленд.<sup>9</sup> (Якби весь лід Антарктики розтанув, рівень океану в цілому світі піднявся б на 180 футів.)
- На кожний фут підвищення рівня океану припадає близько 100 футів відступу берегової лінії. У минулому сторіччі рівень океану вже підвищився на 8 дюймів, здебільшого через розширення води внаслідок нагрівання. За припущенням ООН, до 2100 року рівень океану може підвищитися ще на 7-23 дюйми. Дехто з науковців вважає, що ООН виявила надмірну обережність в інтерпретації наявних даних. На думку науковців з Інституту арктичних і альпійських досліджень Колорадського університету, до 2100 року рівень океану може піднятися на 3-6 футів.<sup>10</sup> Отже, карта берегових ліній Землі поступово змінюватиметься.
- Показники температури почали систематично реєструвати наприкінці вісімнадцятого сторіччя; 1995, 2005 і 2010 роки виявились серед найспекотніших років за весь цей час; період від 2000 до 2009 був найспекотнішим десятиріччям. Уміст вуглекислого газу в повітрі теж різко зростає. Сьогодні він найвищий за 100 000 років.
- Із нагріванням Землі тропічні хвороби поступово мігрують на північ. Недавнє поширення вірусу лихоманки Західного Нілу, що його переносять комарі, може виявитися передвісником нашого сумного майбутнього. ООН особливо стурбована поширенням на північ малярії. Зазвичай яйця багатьох шкідливих комах гинуть щозими з замерзанням ґрунту. Однак зими коротшають, і це означає, що небезпечні комахи неминуче ширитимуться на північ.



## ДВООКИС ВУГЛЕЦЮ – ПАРНИКОВИЙ ГАЗ

Згідно з інформацією Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату, науковці визначили з 90-відсотковою певністю, що глобальне потепління спричинене людською діяльністю – особливо спалюванням нафти й вугілля, в результаті чого утворюється вуглекислий газ. Сонячне світло легко проходить крізь вуглекислий газ. Однак при нагріванні Землі утворюється інфрачервоне випромінювання, яке вже не може пройти крізь вуглекислий газ так само легко. Енергія від сонячного світла, що потрапила на Землю, не може повернутися в космос і опиняється в пастці.

Щось схоже ми спостерігаємо в теплицях чи в автомобілях. Сонячне світло нагріває повітря, а скло не дає теплу вийти назовні.

Лякає те, що обсяг вуглекислого газу, зумовленого людською діяльністю, за останній час різко збільшився, особливо в минулому сторіччі. До промислової революції вміст вуглекислого газу в повітрі становив 270 одиниць на мільйон. Сьогодні він зріс до 387 одиниць на мільйон. (У 1900 році світ споживав 150 мільйонів барелів нафти.<sup>11</sup> У 2000 році цей показник зріс до 28 мільярдів барелів, тобто збільшився в 185 разів. У 2008 році в повітря потрапило 9,4 мільярда тон вуглекислого газу від спалювання викопного палива, а також від вирубки лісів, але лише 5 мільярдів тон переробилося в океанах, ґрунті й рослинах. Решта в найближчі десятиріччя залишатиметься в повітрі й нагріватиме Землю.)

## ВІЗИТ В ІСЛАНДІЮ

Підвищення температури – не випадковість: у цьому можна пересвідчившись, проаналізувавши льодові керни. Науковці пробурили в прадавній кризі Арктики глибокі свердловини й добули звідти бульбашки з повітрям, яким тисячі років. Проаналізувавши хімічний склад повітря в цих бульбашках, науковці визначили, якою була температура атмосфери і вміст у ній вуглекислого газу понад 600 000 років тому. Незабаром вони зможуть визначити, якими були погодні умови на Землі мільйон років тому.

Я мав нагоду побачити це все на власні очі. Якось я читав лекцію в Рейк'явіку, столиці Ісландії, і мав честь відвідати Університет Ісландії, де власне й досліджують льодові керни. Коли літак призем-

ляється в Рейк'явіку, спочатку ви бачите лише сніг і гострі скелі; це нагадає голий місячний пейзаж. Утім, безплідна й непривітна земля Арктики – ідеальне місце, щоб досліджувати клімат, який був на Землі сотні тисяч років тому.

Аби потрапити в університетську лабораторію, де постійно підтримують мінусову температуру, я мусив пройти крізь важкі двері з теплоізоляцією. В середині я побачив безліч стелажів, на яких лежали довгі металеві трубки, кожна близько півтора дюйма в діаметрі і близько десяти футів завдовжки. Кожну з цих трубок порожньою всвердлили глибоко в кригу льодовика, й вона захопила зразки снігу, що падав тисячі років тому. Коли трубки зняли, я зміг уважно оглянути вміст кожної з них. Спочатку я бачив лише довгий стовпчик білої криги. Однак, придивившись краще, я зауважив, що на цій кризі є поперечні смужки різних кольорів.

Науковці застосовують різноманітні методи, щоб визначити вік цих крижаних зразків. Деякі шари криги містять маркери важливих подій – приміром, сажу від виверження вулкана. Оскільки дати цих вивержень відомі більш-менш достовірно, то на їх підставі можна визначити вік відповідного шару криги.

Потім льодові керни розрізали на скибки, щоб можна було їх ретельно дослідити. Подивившись на одну таку скибку в мікроскоп, я побачив малесенькі, мікроскопічні бульбашки. Я здригнувся від усвідомлення, що споглядаю повітряні бульбашки, які утворилися десятки тисяч років тому, ще до виникнення людської цивілізації.

Вміст вуглекислого газу в кожній бульбашці виміряти легко. Складніше визначити температуру повітря в момент, коли ця крига тільки утворилась. (Для цього науковці досліджують воду в бульбашці. Молекули води можуть містити різні ізотопи. Зі зниженням температури важчі ізотопи води конденсуються швидше, ніж звичайні молекули води. Відтак, визначивши частку важчих ізотопів, можна обчислити температуру, при якій молекула води конденсувалась.)

Урешті-решт, ретельно проаналізувавши вміст тисяч льодових кернів, науковці дійшли деяких важливих висновків. Вони виявили, що температура повітря і вміст вуглекислого газу впродовж багатьох тисячоліть коливалися синхронно, як дві машинки на американських гірках, що їдуть разом. Коли одна крива піднімається чи падає, за нею слідує й інша.

Найважливіше те, що науковці виявили різкий стрибок температури і вмісту вуглекислого газу лише впродовж минулих ста років. Це доволі незвично, оскільки переважно зміни відбуваються повіль-

но, протягом тисячоліть. Науковці стверджують, що цей незвичний пік температури не є частиною природного процесу потепління, а чітко свідчить про вплив людини.

Є й інші способи довести, що недавнє раптове підвищення температури спричинене людською діяльністю, а не природними циклами. Сьогодні комп'ютерне моделювання вже настільки досконале, що ми можемо змоделювати температуру Землі з урахуванням людської діяльності й без неї. За відсутності цивілізації, що продукує вуглекислий газ, утворюється відносно пласка температурна крива. Однак якщо додати людську діяльність, то на графіку з'являється різке підвищення і температури, і рівня вуглекислого газу. Цей прогнозований пік досконало збігається з реальним піком, який ми власне спостерігаємо.

Нарешті, можна виміряти кількість сонячного світла, що падає на кожний квадратний фут земної поверхні. Також можна обчислити кількість тепла, що відбивається від Землі у відкритий космос. За нормальних умов, ці дві величини мали б збігатися: кількість тепла, що потрапляє на Землю, має дорівнювати кількості тепла, що йде від Землі. Однак у дійсності ми виявляємо, що між ними є різниця, яка сьогодні й нагріває Землю. Якщо ж ми обчислимо обсяг енергії, що утворюється внаслідок людської діяльності, то виявимо, що дві величини досконало збігаються. Отже, теперішнє нагрівання Землі спричинене саме людською діяльністю.

Прикро, але якби навіть ми раптом зовсім припинили продукувати вуглекислий газ, то все одно в атмосфері вже накопичилось достатньо газу, щоб глобальне потепління тривало ще кілька десятиріч.

Як наслідок, до середини сторіччя ситуація може стати критичною.

Науковці змалювали, як виглядатимуть наші прибережні міста в середині сторіччя й пізніше, якщо рівень океану й надалі зростатиме. Прибережні міста можуть зникнути. Багато кварталів Мангеттена, ймовірно, доведеться евакуювати; Волл-Стріт опиниться під водою. Уряди будуть змушені вирішувати, котрі з великих міст і столиць варто рятувати, а котрі безнадійні. Деякі міста, можливо, вдасться рятувати за допомогою складної системи гребель і шлюзів. Інші, мабуть, визнають безнадійними й покинуть напризволяще, що спричинить масову міграцію людей. Оскільки більшість комерційних центрів і найнаселеніших міст світу розташовані поблизу океанів, то це може мати катастрофічні наслідки для економіки.

Навіть якщо деякі міста і вдасться рятувати, кожний сильний шторм загрожуватиме їм повинню, яка може паралізувати їхню інфра-

структуру. Приміром, 1992 року сильний шторм затопив Мангеттен, паралізувавши систему метро й залізничне сполучення з Нью-Джерсі. Без транспортної системи економіка функціонувати не може.

## ЗАТОПЛЕННЯ БАНГЛАДЕШ І В'ЄТНАМУ

У звіті Міжурядової групи експертів з питань зміни клімату визначено три зони потенційного лиха: Бангладеш, дельта Меконгу у В'єтнамі і дельта Нілу в Єгипті.

Найгірше становище в Бангладеш – країні, яка систематично потерпає від повеней навіть без глобального потепління. Територія цієї держави здебільшого рівнинна й перебуває на рівні моря. Попри значні успіхи кількох минулих десятиріч, Бангладеш залишається однією з найбідніших країн світу, при тому густота населення там одна з найвищих. (Населення Бангладеш становить 161 мільйон, що можна порівняти з населенням Росії, проте за площею ця країна менша за Росію в 120 разів.) Якщо рівень океану підніметься на три фути, то близько половини Бангладеш опиниться під водою. Природні катаклізми трапляються там майже щороку, однак у вересні 1998 року світ із жахом побачив прелюдію до того, що колись може стати звичним явищем. Сильна повінь затопила дві третини країни, 30 мільйонів людей залишилися без даху над головою майже за день, 1000 людей загинули; було зруйновано 6000 миль доріг. Це була одна з найгірших природних катастроф у сучасній історії.

Інша країна, для якої підвищення рівня океану мало б катастрофічні наслідки, – це В'єтнам, де особливо вразлива дельта річки Меконг. До середини сторіччя ця країна з населенням 87 мільйонів осіб може позбутися своїх основних сільськогосподарських земель. Половину всього в'єтнамського рису вирощують у дельті Меконгу, де живе 17 мільйонів людей, і в разі підвищення рівня океану більшість цієї території опиниться під водою. За даними Світового банку, якщо рівень океану підніметься на три фути, 11 відсотків усього населення В'єтнаму будуть змушені покинути свої домівки. Затопивши дельту Меконгу, солоня морська вода назавжди знищить тамтешні родючі ґрунти. Мільйони в'єтнамців, що втратять житло, кинуться в пошуках притулку в місто Хошимін. Однак чверть цього міста теж буде під водою.

У 2003 році Пентагон замовив компанії *Global Business Network* дослідження, яке показало, що за найгіршого сценарію глобальне потепління може спричинити всесвітній хаос. Якщо мільйони біженців ринуться через державні кордони, уряди можуть втратити контроль і впасти, і в країнах почнуться заворушення, мародерство й хаос. У такій жахливій ситуації держави, опинившись перед загрозою вторгнення мільйонів несамовитих людей, можуть узятися за атомну зброю.

“Уявіть, як Пакистан, Індія й Китай – усі озброєні атомними бомбами – конфліктують на кордонах через біженців, доступ до спільних річок і орні землі”, – написано в звіті.<sup>12</sup> Пітер Шварц, засновник *Global Business Network* і головний виконавець дослідження для Пентагону, повідав мені подробиці цього сценарію. На його думку, найгарячішою точкою буде кордон між Індією і Бангладеш. Якщо в Бангладеш виникне серйозна криза, то 160 мільйонів людей можуть утратити житло, і це спричинить одну з найбільших міграцій в історії людства. Напруга швидко зросте, кордони впадуть, місцева влада буде безсила і спалахнуть масові бунти. Шварц вважає, що країни можуть вдатися до атомної зброї як до крайнього засобу.

У найгіршому разі може статися, що парниковий ефект сам створюватиме умови для свого посилення. Наприклад, якщо арктична тундра відтане, то з рослин, що гнитимуть, можуть вивільнитись мільйони тон метану. Тундра охоплює близько 9 мільйонів квадратних миль у північній півкулі, і на цій території міститься рослинність, що замерзла ще в час останнього льодовикового періоду десятки тисяч років тому. В тундрі сховано більше вуглекислого газу й метану, ніж в усій земній атмосфері, і це становить величезну загрозу для клімату. Щобільше, метан – значно небезпечніший парниковий газ, ніж двоокис вуглецю. Він не так довго залишається в атмосфері, однак завдає значно більше шкоди. Вивільнення такої кількості метану з відталої тундри може спричинити різке зростання температури, а це потягне за собою подальше вивільнення метану і запустить нестримний цикл глобального потепління.

## ТЕХНІЧНІ ІДЕЇ

Ситуація серйозна, однак точки неповернення ми ще не пройшли. Контролювання обсягів парникових газів – це здебільшого економічна й політична проблема, а не технічна. Виробництво вуглекислого газу пря-

мо пропорційне економічній діяльності, а отже, й багатству. Приміром, Сполучені Штати продукують близько 25 відсотків світового вуглекислого газу. Це зумовлено тим, що на Сполучені Штати припадає близько 25 відсотків світової економічної діяльності. А 2009 року Китай випередив Сполучені Штати у виробництві парникових газів – головню завдяки стрімкому зростанню економіки. У цьому й полягає основна причина, чому держави так не поспішають боротися з глобальним потеплінням: це йде врозріз з економічним зростанням і збагаченням.

Пропонуються різні способи подолання цієї глобальної кризи, однак швидких одноразових заходів, очевидно, буде недостатньо. Проблему можна розв'язати, тільки кардинально змінивши наш спосіб споживання енергії. Поважні науковці пропонують деякі технічні заходи, однак жодний із варіантів наразі не здобув широкої підтримки. Ось деякі пропозиції:

- **Затемнення атмосфери за допомогою забруднювальних речовин.** Одна пропозиція полягає в тому, щоб запустити у верхні шари атмосфери ракети з забруднювальними речовинами, такими, як двоокис сірки, й розсіяти їх там, щоб вони відбивали сонячне світло в космос і таким чином трохи охолодили Землю. Нобелівський лауреат Пол Крутцен навіть обстоював запуск забруднювачів у космос як останній шанс для людства зупинити глобальне потепління. Ця ідея народилася ще 1991 року, коли науковці уважно стежили за потужним вулканічним вибухом гори Пінатубо на Філіппінах, який викинув у верхні шари атмосфери 10 мільярдів тон вулканічного пилу й уламків порід. Від цього небо потемніло й середня температура на Землі знизилась на 1° F. Це дало змогу обчислити, який обсяг забруднювальних речовин треба запустити в атмосферу, щоб знизити температуру на Землі. Хоч це й серйозна пропозиція, критики сумніваються, що проблему глобального потепління можна розв'язати тільки цим. Складно передбачити, як величезна кількість забруднювачів вплине на клімат. Переваги можуть виявитися короткочасними, або ж якісь несподівані побічні ефекти можуть виявитись гіршими за первинну проблему. Наприклад, після виверження Пінатубо в усьому світі раптово зменшилась кількість опадів; якщо експеримент піде якимось неочікувано, то він теж може спричинити сильні по-

сухи. За попередніми оцінками, польові випробування цієї ідеї коштували б 100 мільйонів доларів. Оскільки сульфатні аерозолі діють тільки тимчасово, то щороку було б потрібно щонайменше 8 мільярдів доларів, аби регулярно запускати їх у великих кількостях в атмосферу.

- **Розмноження водоростей.** Інша пропозиція – скинути в океани хімічні речовини, що містять залізо. Такі мінеральні добрива спричинять інтенсивне розмноження водоростей, а це, своєю чергою, збільшить обсяг вуглекислого газу, що його поглинають водорості. Однак коли корпорація *Planktos* із головним офісом у Каліфорнії оголосила про намір самостійно розпочати проект з удобрення частини Південної Атлантики залізом, – сподіваючись штучно спричинити буяння планктону, який поглинатиме вуглекислий газ, – то країни, що входять до Лондонської конвенції, яка регулює скидання відходів в океан, висловили стурбованість.<sup>13</sup> Крім того, одна організація під егідою ООН закликала встановити тимчасовий мораторій на такі експерименти. Проект припинився, коли у *Planktos* закінчилися гроші.
- **Секвестрування вуглецю.** Іще одна можливість – секвеструвати вуглець, тобто зріджувати й ізолювати від довкілля вуглекислий газ, який виділяють вугільні електростанції, – приміром, захоронювати його під землею. У принципі, це може спрацювати, однак цей процес дуже дорогий, а крім того, таким способом не можна вилучити з атмосфери вуглекислий газ, який уже туди потрапив. У 2009 році інженери уважно стежили за першим серйозним випробуванням цього методу. Величезну електростанцію *Mountaineer*, збудовану 1980 року в Західній Вірджинії, реконструювали, так щоб не випускати вуглекислий газ у довкілля; відтак *Mountaineer* стала першою вугільною електростанцією в Сполучених Штатах, на якій спробували секвеструвати вуглець. Скрапленний газ планують закачувати на глибину 7 800 футів у шар доломіту.<sup>14</sup> Ця рідина поступово утворить масу тридцять-сорок футів заввишки і кількості ярдів завдовжки. Власник електростанції – компанія *American Electric Power* – планує закачувати під землю 100 000 тон вуглекислого газу річно впродовж двох-п'яти років. Це лише 1,5 відсотка від річного обсягу викидів вуглекислого газу на цій електростанції, однак

із часом ця система зможе вловлювати до 90 відсотків. Початкова вартість проекту становить близько 73 мільйонів доларів. Але якщо він виявиться успішним, то цю модель можна буде швидко поширити на інші електростанції, зокрема на чотири гігантські вугільні електростанції, що розташовані поблизу й сукупно генерують 6 мільярдів ват енергії (через них цю місцевість прозвали Мегаватною Долиною). У цій схемі залишаються деякі невідомі: не ясно, чи вуглекислий газ поступово мігруватиме, чи, може, він з'єднається з водою і, чого доброго, утворить вугільну кислоту, яка може отруїти ґрунтові води. Втім, якщо експеримент вдасться, то цей метод цілком може стати складовою комплексу технологій, за допомогою яких людство стримуватиме глобальне потепління.

- **Генна інженерія.** Ще одна пропозиція полягає в тому, щоб створити за допомогою генної інженерії такі форми життя, які б могли поглинати великі кількості вуглекислого газу. Один завзятий прибічник такого підходу – Дж. Крейг Вентер, котрий зажив слави й багатства тим, що винайшов швидкісні технології, які дали змогу секвенувати геном людини на кілька років раніше від запланованого терміну. “Ми розглядаємо геном як програму, чи навіть операційну систему клітини”, – каже він.<sup>15</sup> Мета Вентера – переписати цю програму, тобто генетично модифікувати мікроорганізми або й навіть створити їх майже з нуля, так щоб вони поглинали вуглекислий газ із вугільних електростанцій і перетворювали його на корисні речовини, зокрема природний газ. Він зазначає: “На нашій планеті вже зараз є тисячі, а то й мільйони організмів, які вміють це робити”. Фокус полягає в тому, щоб модифікувати їх таким чином, щоб вони могли підвищити свою продуктивність, а також жити в умовах вугільної електростанції. “Ми думаємо, що ця галузь має всі шанси замінити нафтохімічну промисловість – можливо, вже за десять років”, – оптимістично каже Вентер.

Фізик із Принстонського університету Фріман Дайсон пропонує інший варіант – створення генетично модифікованих дерев, які б інтенсивно поглинали вуглекислий газ. Він заявив, що трильйона таких дерев, імовірно, вистачило б, аби контролювати вміст вуглекислого газу в повітрі. У статті *Чи можемо ми контролювати вуглекислий газ в атмосфері?* він



запропонував створити “вуглеводневий банк дерев, що швидко ростуть”<sup>16</sup>, аби регулювати рівень вуглекислого газу.

Однак у цьому разі – як і завжди, коли планується застосувати генну інженерію в широкому масштабі, – треба зважати на можливі побічні ефекти. Новостворену форму життя неможливо вилучити з середовища так само, як можна вилучити з обігу, приміром, невдалу модель авта. Потрапивши в природне середовище, генетично модифікована форма життя може вплинути якимсь неочікуваним способом на інші форми життя – зокрема витіснити місцеві види рослин і порушити усталену рівновагу харчового ланцюжка.

Прикро, але політики наразі не виявляють жодного бажання профінансувати хоч якийсь із цих проектів. Однак рано чи пізно проблема глобального потепління настільки загостриться, що політики будуть змушені вдатися до котрихось із них.

Критичними будуть кілька наступних десятиріч. До середини сторіччя ми, очевидно, перейдемо здебільшого на водневе паливо; поєднання термоядерної, сонячної та інших видів відновлюваної енергії істотно зменшить залежність економіки від викопного палива. Ринкові механізми й удосконалення водневих технологій мали б забезпечити нам розв’язок проблеми глобального потепління на довшу перспективу. Небезпечний період триває тепер – до настання водневої ери. В близькому майбутньому викопне паливо й надалі залишатиметься найдешевшим джерелом енергії – відтак глобальне потепління становитиме загрозу ще принаймні кілька десятиріч.

## ТЕРМОЯДЕРНА ЕНЕРГІЯ

До середини сторіччя з’явиться нова альтернатива, яка може змінити правила гри: термоядерний синтез. На той час цей варіант мав би стати найоптимальнішим з усіх технічних вирішень, можливо, він навіть розв’язав би проблему енергозабезпечення раз і назавжди. Якщо атомна енергія утворюється в результаті розщеплення ядер атомів урану (що призводить до великої кількості радіоактивних відходів), то при термоядерному синтезі атоми водню сплавляють

докупи, нагріваючи до величезної температури; при цьому вивільняється значно більше енергії (і утворюється значно менше відходів).

На відміну від розщеплення атомного ядра, термоядерний синтез вивільняє ядерну енергію Сонця. В глибині атома водню сховане джерело енергії Всесвіту. Енергія ядерного синтезу запалює Сонце й освітлює небеса. У ній криється таємниця зірок. Усяк, хто зуміє опанувати термоядерний синтез, здобуде вічне невичерпне джерело енергії. Паливом для термоядерних станцій слугує звичайна морська вода. Термоядерний синтез дає в 10 мільйонів разів більше енергії, ніж бензин, з розрахунку на одиницю ваги. Склянка води містить стільки ж енергії, що й 500 000 барелів нафти.<sup>17</sup>

Саме до ядерного синтезу (а не до розщеплення атомного ядра) вдається природа, щоб жити енергією Всесвіт. Коли утворюється зірка, газова куля, багата воднем, поступово стискається під дією гравітації й водночас нагрівається до величезної температури. Коли температура газу сягає близько 50 мільйонів градусів (точна цифра коливається залежно від конкретних умов), атоми водню в газі починають зіштовхуватись і зливатися один з одним, перетворюючись на гелій. При цьому вивільняється величезний обсяг енергії, і газ спалахує. (Точніше, це стиснення мусить задовольняти так званий критерій стійкості Ловсона, суть якого в тому, що треба стискати водень конкретної щільності до конкретної температури впродовж конкретного часу. Якщо ці три умови – щільність, температура і час – дотримані, то виникає реакція ядерного синтезу – чи то йдеться про водневу бомбу, чи зірку, чи синтез у термоядерному реакторі.

Отже, в цьому суть: водень треба нагріти й стиснути настільки, щоб його ядра почали з'єднуватись між собою, вивільняючи космічний обсяг енергії.

Однак дотепер усі спроби опанувати цю космічну енергію були невдалими. Нагріти водень до десятків мільйонів градусів, коли протони починають об'єднуватись в ядра гелію й вивільняти енергію, виявилось неймовірно складно.

Щобільше, громадськість не дуже-то вірить подібним обіцянкам, оскільки що двадцять років науковці заявляють, що опанують термоядерну енергію за наступні двадцять років. Утім, сьогодні, після багатьох десятиріч надміру оптимістичних заяв, фізики дедалі більше впевнюються в тому, що термоядерний синтез і справді на підході – перші реактори можуть з'явитися вже 2030 року. Цілком імовірно, що до середини сторіччя термоядерні станції виростуть по всій території країни.

Громадськість має всі підстави ставитися до термоядерного синтезу скептично – надто багато в минулому було брехні, шахрайства і невдач. Ще 1951 року, коли Сполучені Штати і Радянський Союз були повністю поглинуті холодною війною й гарячково розробляли першу водневу бомбу, президент Аргентини Хуан Перон заявив із великою помпою, що науковці його країни здійснили прорив і підкорили енергію Сонця. У медіях зчинилася справжня буря. Новина здавалась неймовірною, але все одно потрапила на першу сторінку газети *The New York Times*. Аргентина, нахвалявся Перон, здійснила значне наукове відкриття там, де наддержави зазнали невдачі. Якийсь невідомий німецькомовний науковець Рональд Ріхтер переконав Перона профінансувати його “термотрон”, який обіцяв невичерпну енергію і вічну славу Аргентині.

Американська наукова громада, що й досі билась над термоядерним синтезом, аби створити водневу бомбу раніше, ніж Росія, оголосила, що заява Перона – нісенітниця. Науковець-атомник Ральф Лепп сказав: “Я знаю, який іще матеріал використовують аргентинці. Це локшина”.<sup>18</sup>

Преса швидко нарекла цей винахід “бомбою з локшини”. Коли іншого науковця-атомника Девіда Лілієнталя спитали, чи є бодай “найменший шанс” на те, що аргентинці кажуть правду, той відповів: “Навіть іще менший”.<sup>19</sup>

Під таким величезним тиском Перон просто вперто стояв на своєму, натякаючи, що наддержави заздять Аргентині, яка втерла їм носа. Момент істини настав наступного року, коли представники Перона навідалися до лабораторії Ріхтера. Під шквалом критики Ріхтер поводився дивно й непослідовно. Коли інспектори прибули на місце, він підірвав двері лабораторії за допомогою балонів з киснем, а тоді нашкрябав на клаптику паперу слова “атомна енергія”. Він розпорядився, щоб у реактор засипали порох. Інспектори вирішили, що Ріхтер, мабуть, збожеволів. Коли вони поклали поряд із його “лічильниками випромінювання” шматок радію, нічого не відбулося – отже, обладнання явно було підrobкою. Пізніше Ріхтера заарештували.

Утім, найвідоміший випадок стався 1989 року, коли Стенлі Понс і Мартін Флейшманн, два шановані хіміки з Університету штату Юта, заявили, що опанували “холодний синтез”, тобто термоядерний синтез за кімнатної температури. Вони стверджували, що поклали у воду паладій, і той якимсь чарівним способом стиснув атоми водню так сильно, що вони перетворились на гелій – вивільняючи енергію Сонця, практично, на робочому столі.

Ця заява спричинила справжній шок. Ледь чи не кожна газета в світі вмістила це відкриття на першу сторінку. Журналісти вмиль заговорили про кінець енергетичної кризи й настання ери невичерпної енергії. Світові медіи ошаленіли. Штат Юта негайно ухвалив закон про виділення 5 мільйонів доларів на створення Національного інституту холодного синтезу. Навіть японські автовиробники почали жертвувати мільйони доларів на дослідження в цій новій модній галузі. Навколо холодного синтезу почало утворюватися щось на зразок культу.

На відміну від Ріхтера, Понс і Флейшманн тішились повагою серед наукової громади й були раді поділитися своїми результатами. Вони показали своє обладнання й одержані дані, щоб усяк охочий міг побачити все на власні очі.

Але потім ситуація ускладнилась. Оскільки обладнання Понса і Флейшманна було дуже просте, то науковці по всьому світу спробували відтворити їхній дивовижний експеримент. Прикро, але більшості не вдалося зафіксувати жодного додаткового виділення енергії, і холодний синтез оголосили глухим кутом. Однак історію цю не забували, бо періодично лунали заяви, що якась група науковців відтворила експеримент успішно.

Урешті-решт втрутилася громада фізиків. Фізики проаналізували рівняння Понса і Флейшманна й виявили, що вони некоректні. Передусім, якби Понс і Флейшманн мали рацію, то з води, де буцімто відбувався синтез, мав би йти палючий потік нейтронів, який би їх убив. (У типовій реакції ядерного синтезу два ядра водню зіштовхуються і зливаються до купи, утворюючи енергію, ядро гелію, а також нейтрон.) Тож сам лише факт, що Понс і Флейшманн залишились живі, означав, що термоядерного синтезу в їхньому експерименті не було. Інакше вони померли б від радіаційних опіків. По-друге, найімовірніше, що Понс і Флейшманн зіткнулися з якоюсь хімічною, а не термоядерною реакцією. І, нарешті, фізики дійшли висновку, що паладій не здатний зблизити атоми водню настільки, щоб водень переплавився на гелій. Це суперечило б законам квантової теорії.

Однак ця суперечка не вщухла остаточно навіть дотепер. Час до часу з'являються повідомлення, що комусь удалося здійснити холодний синтез. Проблема в тому, що нікому не вдається здійснити холодний синтез гарантовано, так би мовити, "на вимогу". Зрештою, який сенс створювати автомобільний двигун, який би працював тільки іноді? Наука ґрунтується на результатах, які можна відтворити, перевірити чи спростувати і які за відповідних умов можна одержати завжди.

## ГАРЯЧИЙ СИНТЕЗ

Утім, переваги термоядерної енергії такі великі, що багато науковців таки не полишають надії її опанувати.

Приміром, термоядерний синтез майже не забруднює довкілля. Це відносно чиста технологія; саме таким способом природа створює енергію для Всесвіту. Один побічний продукт синтезу – гелій, який насправді має комерційну вартість. Інший – радіоактивна сталь камери реактора, яку з часом доведеться захоронювати. Вона залишається помірно небезпечною лише кілька десятиріч. Проте термоядерний реактор створює незначну кількість ядерних відходів, порівняно зі стандартним урановим реактором (який продукує тридцять тон високоактивних ядерних відходів річно, що залишаються небезпечними впродовж тисяч, а то й десятків мільйонів років).

Крім того, на термоядерній станції не може статися такої катастрофи, як розплавлення активної зони реактора. Уранові реактори – саме через те, що в їхній активній зоні містяться тони високоактивних ядерних відходів – продукують значні обсяги тепла навіть після зупинки. Власне це залишкове тепло може в якийсь момент розплавити сталь і потрапити в ґрунтові води, спричинити вибух пари і весь кошмар так званого “китайського синдрому”<sup>\*</sup>.

Термоядерні реактори безпечніші за означенням. “Розплавлення термоядерного реактора” – це суперечність у термінах. Приміром, якщо вимкнути магнітне поле термоядерного реактора, то гаряча плазма торкнеться стінок камери і процес ядерного синтезу відразу припиниться. Тобто в термоядерному реакторі не може початися некерована ланцюгова реакція; у випадку аварії він автоматично вимикається.

“Навіть якби термоядерну станцію розбомбили, рівень радіації за кілометр від її огорожі був би такий низький, що нікого не треба було б евакуювати,” – каже Фаррох Наджмабаді, керівник Центру енергетичних досліджень у Каліфорнійському університеті в Сан-Дієго.<sup>20</sup>

Хоч промислова термоядерна енергетика має всі ці чудові переваги, є одна маленька деталь: її не існує. Нікому наразі не вдалося створити функціональний термоядерний реактор.

\* Китайський синдром – гіпотетична аварія на атомній електростанції з розплавленням ядра реактора і конструкцій енергоблоку, в результаті якої ядерне паливо проникає в ґрунт і пропалює Землю наскрізь, – як жартома кажуть у США, аж до Китаю. – *Прим. перекл.*

Однак фізики налаштовані стримано оптимістично. “Ще десять років тому дехто з науковців сумнівався, що термоядерний синтез узагалі можливий, навіть у лабораторії. Тепер ми знаємо, що синтез можливий. Питання полягає в тому, чи може він бути економічно вигідний”, – каже Девід Е. Болдін з компанії *General Atomics*, який наглядає за одним із найбільших термоядерних реакторів у Сполучених Штатах – реактором *DIII-D*.<sup>21</sup>

## **NIF – ТЕРМОЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРА**

Це все може доволі різко змінитися в наступні кілька років.

Тепер апробують одночасно кілька підходів, і після десятиріч невдалих спроб фізики переконані, що незабаром вони нарешті таки опанують термоядерний синтез. Франція має проект Міжнародний експериментальний термоядерний реактор, який підтримують багато європейських країн, Сполучені Штати, Японія та інші. А в Сполучених Штатах є Національний комплекс лазерних термоядерних реакцій (*National Ignition Facility, NIF*).

Я мав нагоду побувати в *NIF* і побачити пристрій для лазерного синтезу на власні очі. Це грандіозне видовище. Через спорідненість із водневими бомбами реактор *NIF* знаходиться в Ліверморській національній лабораторії імені Е. Лоуренса, де військові розробляють водневі боєголовки. Аби потрапити досередини, мені довелося пройти через багато рівнів безпеки.

Сам реактор мене просто приголомшив. Я звик бачити лазери в університетських лабораторіях (по суті, одна з найбільших лазерних лабораторій у штаті Нью-Йорк знаходиться просто під моїм кабінетом у Міському університеті Нью-Йорка), але реактор *NIF* мене вразив. Він міститься в десятиповерховому будинку завбільшки як три футбольні поля, де 192 потужні лазерні промені пронизують довгий тунель. Це найбільша лазерна система в світі, у шістьдесят разів потужніша за попередню.

Облетівши весь довгий тунель, лазерні промені потрапляють на систему дзеркал, які фокусують їх на малесенькій, завбільшки з голівку шпильки, мішені з дейтерію і тритію (два ізотопи водню). Неймовірно: лазерні промені загальною потужністю 500 трильйонів ват сходяться на крихітній кульці, заледве видимій неозброєним оком, розжарюючи її до 100 мільйонів градусів – це значно гарячіше, ніж

у центрі Сонця. (Енергія цього колосального імпульсу дорівнює сумарному виробітку півмільйона атомних електростанцій за коротку мить.) Поверхня мікроскопічної кульки швидко випаровується, ударна хвиля стискає кульку й вивільняє енергію термоядерного синтезу.

Будівництво цього реактора завершили 2009 року, і тепер його випробовують. Якщо все піде добре, то він може стати першим термоядерним реактором, який продукує стільки ж енергії, скільки споживає. Цей пристрій не призначений генерувати електроенергію для потреб економіки, натомість він має на меті продемонструвати, що лазерними променями можна нагрівати матеріали, багаті воднем, і створювати чисту енергію.

Я порозмовляв з одним із директорів *NIF* Едвардом Мозесом про його надії і мрії стосовно цього проекту. Мозес мав на голові шолом і скидався радше на будівельника, ніж на провідного фізика-атомника, що завідує найбільшою в світі лазерною лабораторією. Він визнав, що в минулому було чимало невдалих спроб. Але цей проект, на його думку, не може провалитися: він і його команда ось-ось зафіксують важливе досягнення, яке ввійде в підручники історії; вони першими опанують енергію Сонця на Землі в мирних цілях. Розмовляючи з Мозесом, я відчув, що такі проекти як *NIF* тримаються на зав'язатті й енергії їхніх найпалкіших ентузіастів. Він сказав мені, що наперед радіє дню, коли він зможе запросити до своєї лабораторії президента Сполучених Штатів і оголосити про нове історичне досягнення науки.

Утім, старт у проекту *NIF* був невдалий. (Траплялися навіть деякі дивні речі, зокрема попередній заступник директора *NIF* Е. Майкл Кемпбелл був змушений звільнитися, коли з'ясувалося, що він збрехав, що має ступінь доктора філософії Принстонського університету.) Тоді термін закінчення будівництва, первинно призначений на 2003 рік, почали відсувати. Вартість проекту зросла з одного до чотирьох мільярдів доларів. Урешті-решт його завершили в березні 2009 року – із шестирічним запізненням.

Кажуть, що диявол криється в деталях. Так, у лазерному синтезі всі 192 лазерні промені мусять вцілити в поверхню малесенької кульки з величезною точністю, щоб вона сколапсувала рівномірно. Всі промені мусять досягнути цієї крихітної мішені з максимальним інтервалом один від одного в 30 трильйонних часток секунди. Найменше зміщення лазерних променів чи найменша нерівність кульки означатиме, що кулька нагріється несиметрично і вибухне назовні в одному напрямку, а не сферично досередини.

Якщо форма кульки відхилиться від ідеальної сфери більше, ніж на 50 нанометрів (чи близько 150 атомів), то кулька теж не зможе вибухнути правильно.<sup>22</sup> (Це приблизно те саме, що намагатися вцілити бейсбольним м'ячем у зону удару з відстані 350 миль.) Отже, головні проблеми лазерного синтезу – це досконала узгодженість лазерних променів і досконала форма мішені.

Європейський Союз розробляє власну версію лазерного синтезу. Проект має назву *High Power Laser Energy Research Facility (HiPER)*, реактор буде менший, але, мабуть, ефективніший за *NIF*. *HiPER* почнуть будувати 2011 року.

Багато хто покладає надії на *NIF*. Однак, якщо з лазерним синтезом нічого не вийде, є ще один, навіть досконаліший варіант керованого термоядерного синтезу: вмістити сонце в пляшку.

## ITER – СИНТЕЗ У МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Ще одну конструкцію апробують у Франції. У Міжнародному термоядерному експериментальному реакторі (*ITER*) гарячий водень утримують потужні магнітні поля. Замість того, щоб за допомогою лазерів в одну мить стиснути малесеньку кульку речовини, багатої воднем, *ITER* стискає водень повільно за допомогою магнітного поля. Цей реактор дуже схожий на величезний порожнистий бублик зі сталі, чий отвір оточують магнітні витки. Магнітне поле втримує газоподібний водень усередині бубликовидної камери. Тоді в цей газ пускають електричний струм, який його нагріває. Від стискання магнітним полем і під дією струму газ нагрівається до багатьох мільйонів градусів.

Ідея запустити термоядерний синтез у “магнітній пляшці” не нова. Вона зародилася ще в 1950-х роках. То чому ж створення промислових термоядерних реакторів так затягнулося в часі?

Проблема полягає в тому, що магнітне поле треба дуже точно налаштувати, так щоб газ стиснувся рівномірно, без жодних випуклостей. Уявіть, що ви намагаєтесь рівномірно стиснути руками повітряну кульку. Ви побачите, що кулька випинається у вас між пальцями і що стиснути її рівномірно майже неможливо. Отже, проблемою є нестабільність, і це проблема не фізики, а інженерії.

Це здається дивним, адже зірки легко стискають водень, доказ цього – трильйони зірок у нашому Всесвіті. Природа, схоже, без жодних зусиль запалює зірки на небі, то чому ми не можемо зробити



цього на Землі? Причина цього – проста, однак принципова різниця між гравітацією та електромагнетизмом.

Гравітація, як показав Ньютон, суто притягує. Тому водень у зірці під дією гравітації рівномірно стискається у сферу. (З цієї ж причини зірки й планети мають форму сфери, а не, скажімо, куба чи піраміди.) Тим часом електричні заряди бувають двох типів: позитивні і негативні. Якщо зібрати до купи негативні заряди, то вони відштовхнуться один від одного й розлетяться навсібіч. Якщо ж зблизити позитивний і негативний заряди, то утвориться так званий “диполь” зі складною системою силових ліній електричного поля, схожою на павутину. Магнітні поля теж утворюють диполь; відтак рівномірно стиснути гарячий газ усередині бубликовидної камери – неймовірно складне завдання. Дійсно, побудувати схему магнітного й електричного полів, що виникають довкола простої конфігурації електронів, здатний тільки суперкомп’ютер.

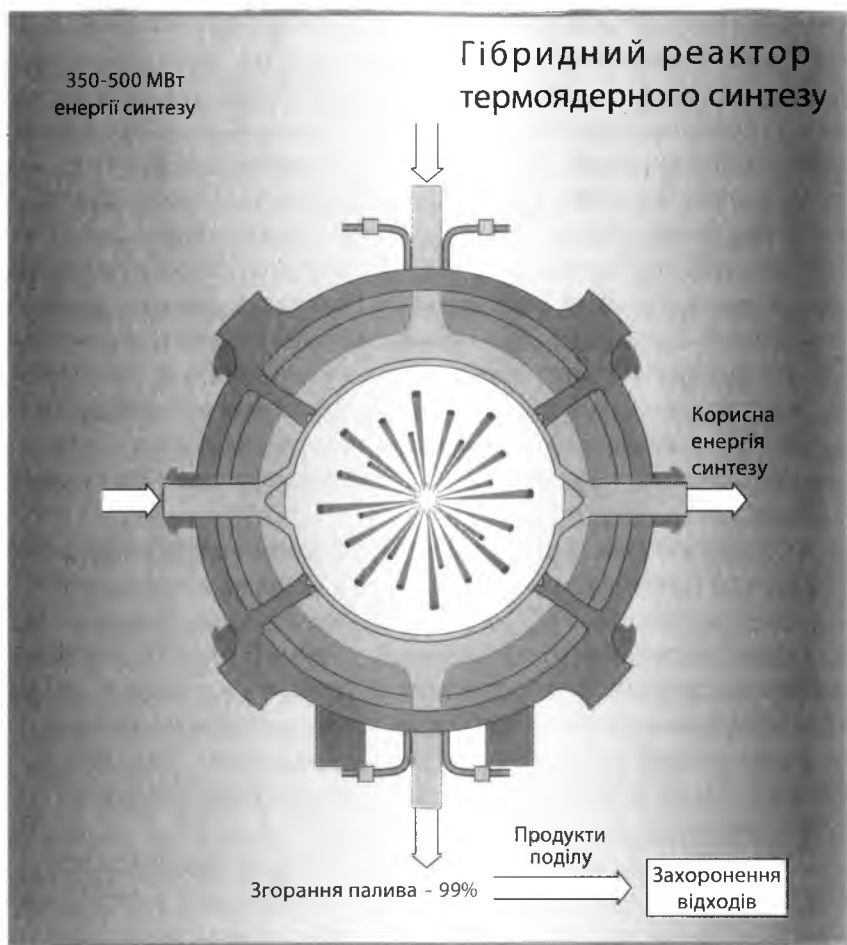
Усе зводиться до цього. Гравітація тільки притягує й тому може рівномірно стиснути газ у сферу. Зірки виникають спонтанно. А електромагнетизм і притягує, і відштовхує, тому газу, якщо їх стискати, випинаються складними способами, і це робить керований термоядерний синтез надзвичайно складною справою. Саме ця фундаментальна проблема півсторіччя стояла на заваді у фізиків.

Тепер же ситуація змінилася. Фізики заявляють, що в реакторі *ITER* проблема стабільності при магнітному утриманні плазми на решті розв’язана.

*ITER* – один із найбільших міжнародних наукових проєктів в історії. Серце цієї конструкції – бубликовидна металева камера. Ціла конструкція важить 23 000 тон – значно більше, ніж Ейфелева вежа, яка важить лише 7 300 тон.<sup>23</sup>

Окремі компоненти конструкції такі важкі, що для їх транспортування доведеться спеціально зміцнити автошляхи. До місця розташування реактора ці компоненти доправить велика колона вантажівок; найважчий із них важить 900 тон, а найвищий має висоту чотириповерхового будинку. Будівля *ITER* матиме дев’ятнадцять поверхів і стоятиме на величезній платформі розміром у шістьдесят футбольних полів. Проектна вартість реактора становить 10 мільярдів євро, а фінансування розділять між собою сім учасників проєкту (Європейський Союз, Сполучені Штати, Китай, Індія, Японія, Корея і Росія).

Коли реактор урешті запустять, він нагріватиме водень до температури 270 мільйонів градусів за Фаренгайтом, що значно пере-



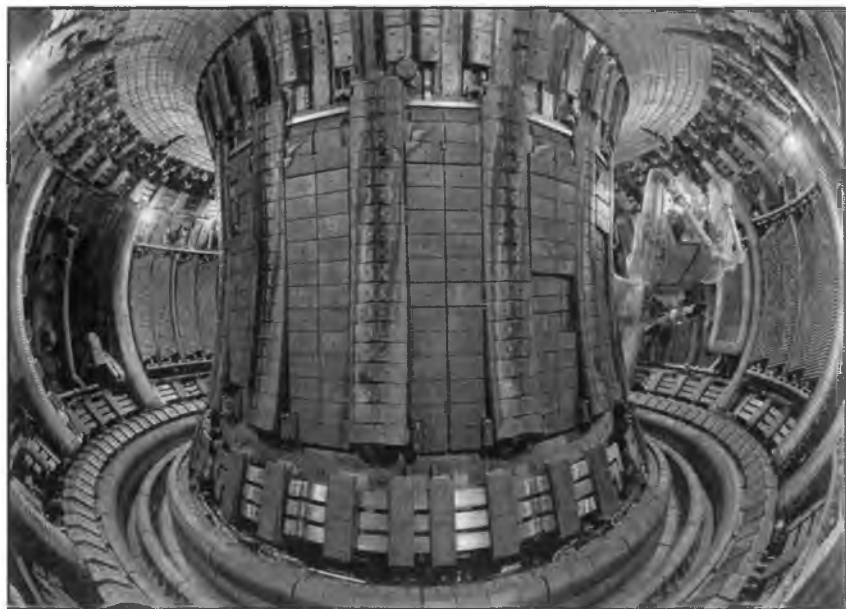
Перший тип термоядерних реакторів. *Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)*

вище 27 мільйонів градусів за Фаренгайтом у центрі Сонця. Якщо все піде добре, то цей реактор вироблятиме 500 МВт енергії, тобто в десять разів більше, ніж споживатиме. (Теперішній рекорд для термоядерної енергії – 16 МВт, які генерує реактор *Joint European Torus* у Калемському науковому центрі в графстві Оксфордшир, Велика Британія). Після деяких відтермінувань досягнення рівня беззбитковості заплановано на 2019 рік.

*ITER* – суто науковий проект, як і всі інші дотеперішні термоядерні реактори.<sup>24</sup> Він не призначений виробляти енергію для промислових потреб. Проте науковці вже сьогодні готують ґрунт для

наступного кроку – комерційного виробництва термоядерної енергії. Фаррох Наджмабаді, керівник робочої групи, яка розглядає комерційні проекти термоядерних реакторів, запропонував проект *ARIES-AT*, що менший за розмірами від реактора *ITER* і мав би виробляти мільярд ват енергії вартістю приблизно 5 центів за кіловат-годину, що зробить його конкурентоспроможним порівняно з електростанціями на викопному паливі. Однак навіть Наджмабаді, який налаштований оптимістично стосовно термоядерного синтезу, визнає, що термоядерна енергія не буде готова для широкого вжитку раніше середини сторіччя.

Ще один комерційний проект – термоядерний реактор *DEMO*. Якщо *ITER*, згідно з проектом, має виробляти 500 МВт упродовж щонайменше 500 секунд, то *DEMO* буде спроектований так, щоб генерувати енергію безперервно. *DEMO* міститиме один додатковий елемент, якого немає в *ITER*. При синтезі двох ядер водню утворюється один додатковий нейтрон, який швидко вилітає з камери реактора. Однак можна оточити камеру спеціальним покриттям, яке



Другий тип термоядерних реакторів. Ліворуч лазери стискають кульку з матеріалів, багатих воднем. Праворуч магнітні поля стискають газ, що містить водень. Імовірно, до середини сторіччя світ добуватиме енергію за допомогою термоядерного синтезу. Фото AFP/Getty Images

називають бланкет і яке спеціально призначене поглинати енергію цього нейтрона. Від цієї енергії бланкет нагрівається. Вода в трубах, що містяться в ньому, закипає. Пару скеровують на лопасті турбіни, яка генерує електрику.

Якщо все піде добре, то *DEMO* запрацює 2033 року. Він буде на 15 відсотків більший за реактор *ITER*. *DEMO* вироблятиме в двадцять п'ять разів більше енергії, ніж споживатиме. Очікується, що *DEMO* вироблятиме 2 мільярди ват енергії, що дозволить його порівнювати з традиційною електростанцією. Якщо проект *DEMO* виявиться успішним, то це може призвести до стрімкої комерціалізації цієї технології.

Однак багато чинників іще не з'ясовано. Для будівництва реактора *ITER* фінансування вже знайдено. Тим часом *DEMO* наразі перебуває лише на стадії планування, відтак затримки майже неминучі.

Фахівці з термоядерного синтезу вважають, що нарешті вони вийшли на фінішну пряму. Після десятиріч перебільшених сподівань і прикрих невдач вони вірять, що термоядерний синтез от-от буде опановано. На сьогодні існує не один, а цілих два проекти (*NIF* і *ITER*), які можуть урешті-решт принести енергію термоядерного синтезу в наші оселі. Проте оскільки ані *NIF*, ані *ITER* поки що не продукують енергії термоядерного синтезу для ринку, то все ще залишається місце для чогось несподіваного, такого, як синтез на столі або ультразвуковий ядерний синтез.

## ЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ НА СТОЛІ

Ставки в цій грі дуже високі, відтак не можна виключати можливості розв'язання цієї проблеми і з цілковито іншого, несподіваного напрямку. Оскільки механізм термоядерного синтезу добре відомий, то з'явилося кілька наукових ідей, що відрізняються від основних концепцій (на реалізацію яких виділяється величезне фінансування), однак не позбавлені сенсу. Зокрема деякі з цих ідей можуть одного дня принести нам термоядерний синтез на столі.

У фінальній сцені фільму *Назад у майбутнє* ми бачимо, як навіжений науковець Док Браун шукає пальне для своєї машини часу – Делоріана. Замість того, щоб заправити авто бензином, він вишукує по смітниках бананові шкірки та інший непотріб, а тоді вкидає все це в маленький бачок із назвою *Містер Синтез*.

Чи може статись таке, що за сто років якесь приголомшливе наукове відкриття стисне велетенські конструкції площею в кілька футбольних полів до розмірів кавоварки, як у кіно?

Один із серйозних варіантів створення термоядерного синтезу на столі має назву сонолюмінесценція – виникнення надвисоких температур у результаті колапсу бульбашок газу в рідині. Іноді це називають ультразвуковим або бульбашковим ядерним синтезом. Про цей дивовижний ефект відомо вже давно – ще від 1934 року, коли науковці в Кельнському університеті експериментували з ультразвуком і фотоплівками, сподіваючись пришвидшити процес їх проявлення, і зауважили на плівці малесенькі точки. Ці точки утворились від спалахів світла в бульбашках, які виникали в рідині під дією ультразвуку. Пізніше нацисти зауважили, що бульбашки, які відлітають від лопастей пропелерів, часто світяться – це означало, що в них усередині чомусь виникають високі температури.

Пізніше науковці з'ясували, що ці бульбашки яскраво світяться тому, що колапсують рівномірно, від чого повітря в них усередині стискається і нагрівається до надзвичайно високих температур. Перешкода для гарячого синтезу, як ми вже побачили, – це нерівномірне стиснення водню: або лазерні промені, що скеровані на кульку палива, сфокусовані неточно, або газ стискається нерівномірно. Коли ж стискається бульбашка, то молекули рухаються так швидко, що тиск повітря в ній усередині швидко стає однорідний уздовж стінок. У принципі, якби можна було стиснути бульбашку в таких досконаlih умовах, то можна було б одержати термоядерний синтез.

В експериментах із сонолюмінесценцією науковцям удалося досягнути температур у десятки тисяч градусів. Якщо використовувати інертні гази, то можна збільшити інтенсивність світла, яке йде з бульбашок. Однак поки що науковці не мають певності, що таким способом можливо досягнути температури, достатньо високої для термоядерного синтезу. Сумніви з'явилися після того, як Рузі Телейархан, який раніше працював в Оквіджській національній лабораторії, 2002 року заявив, що йому вдалося за допомогою ультразвукового пристрою створити термоядерний синтез. Він стверджував, що зафіксував під час експерименту нейтрони – це незаперечна ознака термоядерного синтезу. Проте впродовж кількох років іншим науковцям так і не вдалося відтворити його експеримент, і тому результат Телейархана сьогодні вважають недостовірним.

Іще один гіпотетичний варіант – пристрій Філо Фарнsworthа, невизначеного співвинахідника телебачення. У дитинстві Фарнsworth уперше почав думати про телебачення, спостерігаючи, як фермер оре поле – ряд за рядом. У чотирнадцять років він навіть намалював деталі свого винаходу. Він же першим і втілював цю ідею в повністю електронному пристрої, що міг виводити на екран рухомі зображення. Прикро, але Фарнsworthу так і не довелося скористати зі свого епохального винаходу, натомість він загруз у безкінечних заплутаних патентних процесах із корпорацією RCA. Правові баталії довели його майже до божевілля, і він добровільно ліг на лікування в психіатричну лікарню. Його новаторська праця в галузі телебачення залишилася здебільшого непоміченою.

Пізніше в житті Фарнsworth перемкнув увагу на фузор – невеличкий настільний пристрій, що може генерувати нейтрони за допомогою термоядерного синтезу. Цей пристрій складається з двох великих сфер із дротяної сітки – одна всередині іншої. Зовнішня сфера заряджена позитивно, внутрішня – негативно, відтак протони, що потрапляють усередину, відштовхуються від зовнішньої сітки і притягуються до внутрішньої. Тоді ці протони бомбардують багату воднем мішень, розташовану в центрі сфер, спричиняючи термоядерний синтез і викид нейтронів.

Ця конструкція настільки проста, що навіть старшокласники змогли зробити те, чого так і не вдалося Ріхтеру, Понсу і Флейшманну: згенерувати потік нейтронів. Утім, малоймовірно, що за допомогою такого пристрою колись можна буде добувати енергію. Число нейтронів, які в ньому прискорюються, дуже мале, а отже, й енергія, що її генерує цей пристрій, дуже слабка.

Взагалі, термоядерний синтез можна створити “на столі” і за допомогою стандартного прискорювача частинок. Прискорювач частинок – складніший пристрій, ніж фузор, але за його допомогою теж можна розганяти протони і спрямовувати їх у багату воднем мішень, спричиняючи синтез. Але, знову ж таки, і в цьому випадку число протонів, які беруть участь у синтезі, таке мале, що добувати таким способом енергію немає сенсу. Отже, і фузор, і прискорювач частинок, у принципі, можуть забезпечити термоядерний синтез, але ці пристрої просто занадто неефективні, щоб служити генератором дешевої енергії.

Однак оскільки ставки в цій грі величезні, неважко спрогнозувати, що і в майбутньому підприємливі науковці й інженери матимуть шанс перетворити свої кустарні фузори на черговий мегавинахід.

## ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)

### ЕПОХА МАГНЕТИЗМУ

Попереднє сторіччя було епохою електрики. Маніпулювати електронами дуже легко, і тому електрика стала ґрунтом для появи цілком нових технологій – радіо, телебачення, комп'ютерів, магнітно-резонансної томографії і т. д. Проте в цьому сторіччі фізики, ймовірно, знайдуть свій Святий Грааль – надпровідники за кімнатної температури. І від цього моменту почнеться нова епоха, епоха магнетизму.

Уявіть собі магнітний автомобіль, що мчить понад шляхом, долаючи кількасот миль за годину і майже не споживаючи пального. Уявіть поїзди і навіть людей, що пересуваються в повітрі на магнітній подушці.

Ми забуваємо, що більшість бензину в автомобілі йде на подолання сили тертя. У принципі, від Сан-Франциско до Нью-Йорка можна було б доїхати, майже не витрачаючи енергії. Основна причина, чому для такої подорожі потрібно бензину на кількасот доларів, полягає в тому, що авто мусить долати тертя коліс об шлях і опір повітря. Якби ж можна було вистелити всю дорогу від Сан-Франциско до Нью-Йорка шаром криги, то по цій кризі можна було б просто ковзати майже задарма. Аналогічно, наші космічні зонди можуть залетіти аж за Плутона, витративши лише кілька кварт пального, тому що вони летять крізь вакуум космосу. Автомобіль на магнітній подушці висітиме над землею; достатньо буде дмухнути – і він зрушить з місця.

Ключ до цієї технології – надпровідники. Ще 1911 року стало відомо, що ртуть при охолодженні до чотирьох градусів (за шкалою Кельвіна) вище абсолютного нуля повністю втрачає електричний опір. Це означає, що в надпровідних дротах енергія не втрачається взагалі, оскільки в них немає опору. (Електрони, рухаючись проводом, втрачають енергію, зіштовхуючись з атомами. Однак при температурі, близькій до абсолютного нуля, атоми майже нерухомі, тож електрони легко прослизують між ними, не втрачаючи енергії.)

Надпровідники мають дивні й чудові властивості, але їхній серйозний недолік полягає в тому, що їх треба охолоджувати майже до абсолютного нуля рідким воднем, який коштує дуже дорого.

Тому фізики пережили справжній шок, коли 1986 року було відкрито новий клас надпровідників, які не треба охолоджувати до такої неймовірно низької температури. На відміну від раніше відомих

надпровідних матеріалів, таких, як ртуть і свинець, нові надпровідники були керамічні (раніше кераміку вважали малоймовірним кандидатом у надпровідники) і набували надпровідності при 92 градусах за шкалою Кельвіна. Раніше вважалося, що за такої температури надпровідність теоретично неможлива.

На сьогодні світовий рекорд для цих нових керамічних надпровідників становить 138 градусів за Кельвіном (або  $-211^{\circ}$  за Фаренгайтом). Це важливо, оскільки рідкий азот (що коштує не дорожче за молоко) утворюється при 77 градусах за Кельвіном ( $-321^{\circ}$  за Фаренгайтом), а отже, ним можна охолоджувати цю кераміку. Сам лише цей факт різко знизив вартість надпровідників. Отже, ці високотемпературні надпровідники мають актуальне практичне застосування.

Утім, керамічні надпровідники лише роздразнили апетит фізиків. Це величезний крок у правильному напрямі, але цього не достатньо. По-перше, хоч рідкий азот і відносно дешевий, все одно потрібно мати якесь холодильне обладнання, щоб його охолоджувати. По-друге, з кераміки складно виготовляти проводи. По-третє, фізиків досі спантеличує природа цієї кераміки. Пройшло вже кілька десятиріч, а фізики й досі не розуміють до кінця, як це працює. Квантова теорія керамічних надпровідників надто складна, і розв'язати її наразі неможливо, відтак ніхто не знає, чому в цій кераміці виникає надпровідність. Фізики розгублені. Науковця, який зможе пояснити природу високотемпературної надпровідності, чекає Нобелівська премія.

Однак кожний фізик розуміє, яке величезне значення мала б надпровідність за кімнатної температури. Її відкриття стало б початком нової промислової революції. Надпровідники за кімнатної температури не потребували б жодного холодильного обладнання, а відтак могли б створити постійні магнітні поля величезної напруженості.

Приміром, якщо електричний струм тече всередині мідної рамки, то її енергія розсіюється за якусь частку секунди через опір проводу. Тим часом експерименти засвідчили, що всередині надпровідної рамки електричний струм може залишатись постійним впродовж багатьох років. Експериментальні дані вказують, що час життя струму в надпровідному кільці може сягати 100 000 років. За деякими теоріями, тривалість життя електричного струму в надпровіднику обмежується лише часом існування відомого нам Усесвіту.

Принаймні такі надпровідники могли б зменшити втрати електрики у високовольтних мережах і знизити таким чином її вартість. Одна з причин, чому електростанція мусить бути так близько від



міста, – це втрати електрики в лініях електропередачі. Саме тому атомні електростанції розташовані так близько від великих міст, що створює загрозу для здоров'я людей, і саме тому вітрові електростанції не можна споруджувати там, де дме найсильніший вітер.

До 30 відсотків електроенергії, що її генерує електростанція, втрачається під час передачі. Надпровідники за кімнатної температури могли б це все змінити і водночас знизити вартість електроенергії та зменшити забруднення довкілля. До того ж вони могли б істотно вплинути на глобальне потепління. Оскільки світове виробництво вуглекислого газу тісно прив'язане до споживання енергії й оскільки більшість цієї енергії витрачається на подолання тертя, то епоха магнетизму могла б раз назавжди знизити і споживання енергії, і виробництво вуглекислого газу.

## АВТОМОБІЛЬ ТА ПОЇЗД НА МАГНІТНІЙ ПОДУШЦІ

Без жодних додаткових затрат енергії надпровідники за кімнатної температури могли б створити супермагніти, здатні утримувати в повітрі поїзди й автомобілі, так щоб вони не торкалися землі.

Продемонструвати цей ефект можна в будь-якій лабораторії. Я сам робив це кілька разів для програм *BBC-TV* і *Science Channel*. Замовити невеличкий шматочок керамічного високотемпературного надпровідника можна в компанії, що торгує науковим обладнанням. Це буде сірий шматочок твердої кераміки завбільшки приблизно з дюйм. Тоді можна купити трохи рідкого азоту в якоїсь компанії, що торгує молокопродуктами. Покладіть шматочок кераміки в пластикову тарілку й обережно залийте рідким азотом. При контакті з керамікою азот різко закипить. Почекайте, доки кипіння припиниться, а тоді покладіть на кераміку маленький магніт. Магніт чудом зависне в повітрі. Якщо його легенько штовхнути, то він почне обертатись. Можливо, що в цій невеличкій тарілці ви побачите майбутнє світового транспорту.

Причина, чому магніт плаває в повітрі, проста. Магнітні силові лінії не можуть проникнути в надпровідник. Це явище називають ефектом Мейсснера. (Коли до надпровідника прикладають магнітне поле, на його поверхні виникає слабкий електричний струм, який відхиляє це поле, так що магнітне поле витісняється з надпровідника.) Коли ви кладете магніт на керамічний надпровідник, його силові лінії скручуються, оскільки не можуть пройти крізь надпровідник. Утворюється “подуш-

ка” зі стиснутих до купи ліній магнітного поля, яка відштовхує магніт від кераміки і змушує плавати в повітрі.

Відкриття надпровідників за кімнатної температури може водночас стати початком епохи супермагнітів. Магнітно-резонансні томографи, як ми вже побачили, надзвичайно помічні, але потребують потужних магнітних полів. Надпровідники за кімнатної температури дадуть науковцям змогу створювати величезні магнітні поля незначним коштом. Це уможливить мінітюаризацію магнітно-резонансних томографів. Уже сьогодні можна створювати магнітно-резонансні томографи завбільшки з фут із використанням неоднорідних магнітних полів. Тим часом з надпровідниками за кімнатної температури ці томографи, можливо, вдасться зменшити до розмірів гудзика.

У третій частині фільму *Назад у майбутнє* Майкла Фокса показано на “летючій дошці” – такому собі скейтборді, що літає в повітрі. Після прем’єри фільму крамницям почали навперебій телефонувати діти, охочі купити таку “летючу дошку”. На жаль, “летючих дошок” наразі не існує, але з відкриттям надпровідників за кімнатної температури вони, можливо, і з’являться.

## ПОЇЗДИ Й АВТОМОБІЛІ НА МАГНІТНІЙ ПІДВІСЦІ

Надпровідники за кімнатної температури передусім знайшли б застосування в транспорті, де вони здійснили б справжню революцію – завдяки їм з’явилися б автомобілі й поїзди, що летять над землею, а отже, рухаються без жодного тертя.

Уявіть собі авто, виготовлене з використанням надпровідників за кімнатної температури. Шляхи тоді були б зроблені не з асфальту, а з надпровідників. Авто або містило б постійний магніт, або ж створювало б магнітне поле за допомогою власного надпровідника. Воно пливло б над дорогою. Аби привести його в рух, достатньо було б навіть стиснутого повітря. Набравши швидкості, таке авто летіло б уперед майже безкінечно, за умови, що дорога рівна. Електричний двигун або струмись стиснутого повітря був би потрібний тільки для подолання опору повітря – це був би єдиний опір, що стримував би рух цього авта.

Навіть за відсутності надпровідників за кімнатної температури кілька держав створили поїзди на магнітній підвісці, що плывуть над рейками, які містять магніти. Відомо, що однакові полюси магнітів відштовхуються; отже, магніти в рейках і внизу поїзда розташовані так, що поїзд висить над рейками, не торкаючись їх.

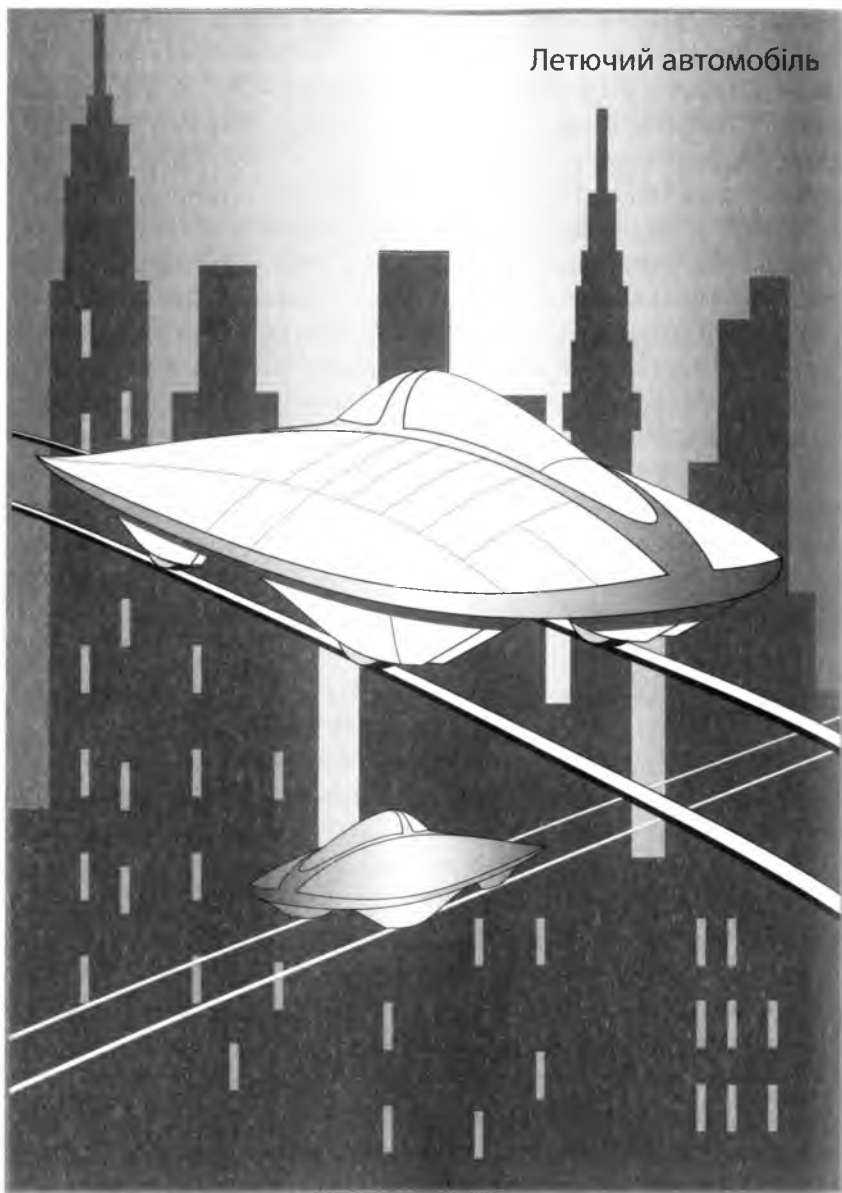
Лідери в опануванні цієї технології – Німеччина, Японія і Китай. Поїзди на магнітній підвісці вже навіть установили деякі світові рекорди. Першим комерційним поїздом на магнітній підвісці був низькошвидкісний поїзд-човник, що курсував між міжнародним аеропортом і міжнародним вокзалом Бірмінгема, починаючи від 1984 року. Найбільшу швидкість поїзда на магнітній підвісці – 361 миль/год – зафіксували 2003 року в Японії на поїзді *MLX01*. (Реактивні літаки літають швидше, частково тому, що на великій висоті опір повітря менший. Оскільки поїзд на магнітній підвісці пливе в повітрі, то енергію він втрачає здебільшого на подолання опору повітря. Однак якби поїзд на магнітній підвісці їздив у вакуумі, то він міг би розвивати швидкість аж до 4 000 миль/год.) Прикро, але через високу собівартість поїзди на магнітній підвісці не поширилися по світу. Надпровідники за кімнатної температури могли б змінити цю ситуацію. До того ж вони могли б реанімувати систему залізниць у Сполучених Штатах і зменшити таким чином викиди парникових газів від літаків. За оцінками експертів, на двигуни реактивних літаків припадає 2 відсотки викидів парникових газів; поїзди на магнітній підвісці могли б зменшити цей обсяг.

## ЕНЕРГІЯ З НЕБА

До кінця цього сторіччя, ймовірно, з'явиться ще один вид енергії: космічна енергія. Її добуватимуть за допомогою космічної орбітальної геліоенергетичної системи (КОГеС). Це означає, що в космос запустять і виведуть на навколосезну орбіту сотні супутників, які поглинатимуть сонячне випромінювання, а тоді передаватимуть цю енергію на Землю у вигляді мікрохвильового випромінювання. Ці супутники будуть розташовані на відстані 22 000 миль над Землею на геостационарній орбіті, тобто рухатимуться синхронно з Землею. Оскільки в космосі сонячної енергії у вісім разів більше, ніж на поверхні Землі, ця концепція видається справді перспективною.

На сьогодні головний камінь спотикання на шляху до створення КОГеС – її собівартість, передусім собівартість запуску цих колекторів у космос. Ніщо в законах фізики не забороняє добувати енергію безпосередньо від Сонця, але це грандіозна інженерна й економічна задача. Однак до кінця сторіччя нові способи здешевлення космічних подорожей можуть зробити ці космічні супутники реальною можливістю, як ми побачимо в шостому розділі.

## Летючий автомобіль



Надпровідники за кімнатної температури можуть колись дати нам летючі автомобілі й поїзди. Вони пливтимуть над рейками або надпровідним покриттям без тертя. *Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)*

Перша серйозна пропозиція стосовно добування енергії з космосу пролунала 1968 року, коли Пітер Глейзер, президент Міжнародного товариства сонячної енергії, запропонував запустити в космос супутники завбільшки з сучасне місто, щоб вони передавали енергію на Землю. 1979 року науковці НАСА уважно проаналізували пропозицію Глейзера й підрахували, що вартість такого проекту становитиме кількості мільярдів доларів, що й поставило на ньому хрест.

Проте космічні технології постійно вдосконалюються, і тому НАСА від 1995 до 2003 року продовжувало фінансувати невеликі дослідницькі проекти з космічної енергетики. Її прибічники вважають, що створення КОГеС – лише питання часу. “Космічна енергія – це справді стабільне, глобальне й екологічно чисте джерело електроенергії”, – каже Мартін Гофферт, фізик, що колись працював у Нью-Йоркському університеті.<sup>25</sup>

На шляху до втілення такого амбітного проекту стоять серйозні проблеми – і реальні, й уявні. Дехто має перед ним страх, тому що промінь, який передаватиме енергію з космосу, може випадково влучити в населену місцевість, що спричинить величезні жертви. Насправді ж цей страх перебільшений. Якщо обчислити реальне випромінювання, яке потраплятиме на Землю з космосу, то воно виявиться дуже слабким і не загрозливим для здоров'я. Тож образ супутника, який вийшов з-під контролю і посилає на Землю смертоносні промені, що підсмажують цілі міста, пасує хіба що для голлівудських фільмів жахів.

2009 року письменник-фантаст Бен Бова виклав у газеті *Washington Post* цікаву арифметику сонячного енергетичного супутника.<sup>26</sup> Він обчислив, що кожний такий супутник генерував би 5-10 ГВт енергії (це значно більше, ніж виробляє звичайна теплова електростанція) вартістю 8-10 центів за кіловат-годину, що робить цю енергію конкурентоспроможною. Кожний супутник був би величезний – близько милі в діаметрі – і коштував би близько мільярда доларів, приблизно як середня атомна електростанція.

Аби запустити цю технологію, Бен Бова запропонував теперішній адміністрації створити демонстраційний проект – запустити супутник, який би генерував від 10 до 100 МВт енергії. Гіпотетично, якщо не зволікати, то такий супутник можна було б запустити наприкінці другого президентського терміну Обама.

В унісон із цими міркуваннями уряд Японії оголосив про масштабну ініціативу. 2009 року міністерство торгівлі оголосило про намір вивчити можливість створення космічної супутникової енер-

госистеми. Компанія *Mitsubishi Electric* та інші японські компанії спільно профінансують програму вартістю 10 мільярдів доларів, у межах якої, ймовірно, у космос запустять сонячну електростанцію потужністю мільярд ват. Це буде величезний супутник площею приблизно 1,5 квадратної милі, укритий сонячними елементами.

“Це схоже на науково-фантастичний мультфільм, але через сто років, коли вичерпає паливо вичерпається, виробництво сонячної енергії в космосі може стати важливим альтернативним джерелом енергії”, – каже Кансуке Канекію з Інституту економіки енергетики, урядової дослідницької організації.<sup>27</sup>

З огляду на масштаб цього амбітного проекту японський уряд поводить обережно. Наступні чотири роки дослідницька група вивчатиме, наскільки цей проект здійснений з наукового й економічного погляду. Якщо ця група дасть зелене світло, тоді міністерство торгівлі й агентство аерокосмічних досліджень Японії планують запустити 2015 року невеликий супутник, щоб апробувати технологію передачі енергії з відкритого космосу.

Головна перешкода тут, ймовірно, буде не наукова, а економічна. Хіроші Йошіда з токійської консалтингової компанії *Excalibur KK*, що спеціалізується на космічних дослідженнях, попередив: “Витрати треба знизити до однієї соті від теперішніх оцінок”.<sup>28</sup> Одна з проблем полягає в тому, що ці супутники мусять бути на відстані 22 000 миль від Землі, тобто значно далі, ніж низькоорбітальні супутники, які знаходяться на висоті 300 миль від Землі; відтак втрати при передачі енергії можуть виявитись величезними.

Утім, головна проблема – це вартість ракетних прискорювачів. Це та сама перешкода, що блокує плани повернутись на Місяць і досліджувати Марс.

Якщо вартість ракетних установок істотно не знизиться, то ця програма помре тихою смертю.

За сприятливих умов японська програма може запрацювати до середини сторіччя. Однак з огляду на проблему з ракетними прискорювачами ймовірніше, що її реалізації доведеться чекати до кінця сторіччя, коли з’являться нові покоління ракет і вартість запуску знизиться.

Якщо головна проблема сонячної енергетики – це вартість ракетних установок, то постає наступне запитання: Чи можемо ми знизити вартість космічних подорожей настільки, щоб колись досягнути зірок?

Ми достатньо надовго затримались на берегах космічного океану.  
Тепер ми нарешті готові рушити до зірок.

– КАРЛ САҒАН

## 6 МАЙБУТНЄ КОСМІЧНИХ ПОДОРОЖЕЙ

*До зірок*

Античні боги тинялися на летючих колісницях небесними полями Олімпу. Скандинавські боги на швидких вітрильних човнах плавали небесними морями в Асгард.

До 2100 року людство впритул наблизиться до нової ери космічних досліджень: польотів до зірок. Зірки – такі звабливо-близькі вночі й водночас такі далекі – наприкінці сторіччя перебуватимуть у фокусі уваги науковців-ракетників.

Однак шлях до створення зоряних кораблів буде тернистим. Людство нагадує когось, хто руками тягнеться до зірок, а ногами загруз у болоті. З одного боку, це сторіччя стане свідком нової ери роботизованих досліджень космосу: ми посилатимемо в космос апарати на пошуки землеподібних планет, досліджуватимемо місяці Юпітера й, можливо, навіть дізнаємось, як виглядав Усесвіт у перші миті після Великого вибуху. Тим часом пілотоване дослідження відкритого космосу, що чарувало уяву багатьох поколінь мрійників і провидців, принесе певне розчарування.

## БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)

### ЕКЗОПЛАНЕТИ

На сьогодні одне з найвидатніших досягнень космічної програми – це дослідження відкритого космосу за допомогою роботів, що незмірно розширило горизонти людства.

Головним завданням майбутніх роботизованих місій буде пошук у космосі планет, придатних для життя, – це Святий Грааль космічної науки. За допомогою наземних телескопів науковці вже виявили в далеких зоряних системах близько 500 планет; тепер нові планети виявляють постійно – приблизно щотижня або що два тижні. Однак наші прилади, на жаль, дають змогу виявляти лише гігантські планети на кшталт Юпітера, на яких життя – принаймні таке, яке ми знаємо – неможливе.

Аби знайти нову планету, астрономи відстежують легенькі коливання у траєкторії тієї чи іншої зірки. Ці чужі зоряні системи нагадують спортивну штангу, кінці якої обертаються один навколо іншого: один кінець із дисками символізує зірку, яку чітко видно в телескоп, а інший – велетенську планету, завбільшки з Юпітер, що тьмяніша приблизно в мільярд разів. Коли така зірка і планета-гігант обертаються довкола центра “штанги”, у телескопи чітко видно, що зірка легенько коливається. Таким методом науковці успішно виявили в космосі сотні газових гігантів, однак цей метод занадто грубий, аби фіксувати наявність невеличких планет, схожих на Землю.

Найменшу з усіх планет, виявлених за допомогою наземних телескопів, було зафіксовано 2010 року, і вона більша за Землю в 3-4 рази. Примітно, що ця “Суперземля” є першою планетою, що перебуває в зоні, придатній для життя, – тобто саме на такій віддалі від своєї зірки, де може існувати вода в рідкому стані.

Усе змінилось із запуском орбітального телескопа Кеплера 2009 року і космічного телескопа *KOPOT* 2006 року. Ці космічні науково-дослідні станції шукають у світлі зірок малесенькі флуктуації, які виникають, коли перед зіркою проходить невеличка планета, заступаючи при цьому якусь мінімальну частку її світла. Ретельно дослідивши світло тисяч зірок щодо цих малесеньких флуктуацій, ці космічні станції, ймовірно, зможуть виявити сотні планет, схожих на Землю. Тоді кожному з цих планет можна буде швидко проаналізувати



щодо наявності на ній рідкої води – мабуть, найціннішої речовини в космосі. Рідка вода – це універсальний розчинник, середовище, де, мабуть, утворилась перша ДНК. Якщо на цих планетах виявляться океани з рідкої води, то це може змінити наше уявлення про життя у Всесвіті.

Журналісти, що полюють на скандали, кажуть: “Дивись, де гроші”; астрономи ж, що шукають життя в космосі, кажуть: “Дивись, де вода”.

Телескоп Кеплера у свій час замінять іншими, чутливішими космічними апаратами, такими як *Terrestrial Planet Finder* (Детектор планет земного типу). Хоч дату запуску *Terrestrial Planet Finder* кілька разів відклали, він досі залишається найкращим кандидатом для продовження місії телескопа Кеплера.

*Terrestrial Planet Finder* матиме значно кращу оптику, щоб шукати двійників Землі в космосі. По-перше, на ньому буде дзеркало, в чотири рази більше і в сто разів чутливіше, ніж на телескопі Габбла. По-друге, на ньому будуть інфрачервоні сенсори, що зможуть послабити потужне випромінювання зірки в мільйон разів і завдяки цьому виявити присутність тьмяної планети, яка, можливо, обертається довкола неї. (Для цього апарат бере дві хвилини випромінювання від зірки і поєднує їх так, щоб вони взаємно скасувалися, вилучаючи таким чином небажану присутність зірки.)

Отже, в близькому майбутньому ми, ймовірно, матимемо каталог із кількох тисяч планет, із яких, мабуть, кількості виявляться дуже схожими на Землю за розміром і складом. Це, своєю чергою, послугує стимулом, щоб запустити до цих далеких планет космічний зонд. Науковці намагатимуться передусім з'ясувати, чи на цих землеподібних планетах є океани з рідкої води і чи не йдуть від них якісь радіосигнали, що їх могли б посилати розумні форми життя.

## ЄВРОПА – ПОЗА “ЗОНОЮ ЖИТТЯ”

У нашій Сонячній системі є ще один спокусливий об'єкт для дослідження: Європа. Багато десятиріч науковці вважали, що в системі планет будь-якої зорі життя може існувати тільки в так званій “зоні життя”, тобто на такій віддалі від сонця, де на планетах не занадто спекотно й не занадто холодно. Планеті Земля пощастило мати воду в рідкому стані, тому що вона обертається довкола Сонця на правиль-

ній відстані. Приміром, на Меркурії рідка вода миттю б закипіла, бо Меркурій надто близько до Сонця, а на Юпітері замерзла б, бо Юпітер надто далеко. Оскільки ДНК і білки, ймовірно, вперше утворилися саме у воді, то довгий час уважалося, що життя в нашій Сонячній системі може існувати тільки на Землі і, можливо, ще на Марсі.

Однак астрономи помилялися. Коли космічні зонди *Voyager* пролетіли повз місяці Юпітера, стало очевидно, що в Сонячній системі є ще одне місце, де б могло бути життя: під льодовим покривом місяців Юпітера. Невдовзі увагу астрономів привернула Європа – один із місяців Юпітера, що їх відкрив Галілей 1610 року. Поверхня Європи постійно вкрита кригою, однак під цією кригою – рідкий океан. Цей океан набагато глибший за земні океани, відтак науковці припускають, що загальний об'єм океану на Європі вдвічі перевищує об'єм земних океанів.

Науковців заскочила ця новина – що в Сонячній системі, крім Сонця, є ще одне потужне джерело енергії. Під кригою поверхню Європи постійно нагрівають припливні сили. Сила тяжіння Юпітера стискає Європу в різних напрямках, спричиняючи в глибині її ядра тертя. Це тертя породжує тепло, від якого крига розтає й утворюється постійний океан рідкої води.

Це відкриття означає, що супутники віддалених газових гігантів, можливо, цікавіші від самих цих планет. (Мабуть, саме тому Джеймс Камерон обрав місцем дії для свого фільму *Аватар* 2009 року супутник планети-гіганта на кшталт Юпітера.) Життя, яке колись уважали чимось доволі рідкісним, насправді може бути в п'ять космосу на місяцях далеких газових гігантів. Зненацька число місць у Всесвіті, де життя можливе, збільшилось у багато разів.

Результатом цього чудесного відкриття став проект *Europa Jupiter System Mission*, запуск якого попередньо заплановано на 2020 рік. Передбачається, що космічний апарат вийде на орбіту Європи і, можливо, приземлиться на ній. Окрім цього, науковці мріють дослідити Європу за допомогою ще складнішої техніки. Вже розроблено кілька різних методів пошуку життя під кригою Європи. Один варіант – проект *Europa Ice Clipper Mission*: космічний апарат скидатиме на крижану поверхню Європи важкі кулі, а тоді ретельно аналізуватиме хмари пилу й уламків, що утворюватимуться від ударів. Ще амбітніший проект – запустити під кригу субмарину-робота з дистанційним керуванням.<sup>1</sup>

Інтерес до Європи підігрується також новими відкриттями на дні океанів тут на Землі. До 1970-х років більшість науковців уважали, що Сонце – це єдине джерело енергії, що уможлиблює життя. Однак 1977 року підводний апарат *Алвін* виявив ознаки нових форм життя в такому місці, де раніше ніхто б і не запідозрив. Досліджуючи Галапагоський риф, *Алвін* виявив рифтії, мідії, раковидних, молюсків та інші форми життя, для яких джерелом енергії служить тепло від вулканічних жерл. Де є енергія, там може бути й життя; і підводні вулканічні жерла забезпечують нове джерело енергії в чорнильній п'ятмі океанських глибин. Деякі науковці навіть припустили, що перші молекули ДНК утворилися не в якійсь припливній водоймі на земному узбережжі, а глибоко в океані поблизу кратера вулкану. Деякі найпримітивніші форми ДНК (і, мабуть, найдавніші) було виявлено на дні океану. Якщо ця гіпотеза правильна, то поблизу вулканічних кратерів на Європі теж могло б зародитися щось на кшталт ДНК.

Наразі залишається тільки припускати, які форми життя могли б виникнути під кригою Європи. Якщо вони взагалі існують, то це, ймовірно, водні створіння, що орієнтуються в просторі за допомогою сонара, а не світла, і їхнє уявлення про Всесвіт обмежене життям під крижаним “небом”.

## LISA – ПЕРЕД ВЕЛИКИМ ВИБУХОМ

Ще один проект, який міг би здійснити революцію в науці, – це *Laser Interferometer Space Antenna* (Лазерна інтерферометрична космічна антена) та його наступники. Є ймовірність, що такі космічні апарати зможуть зробити неможливе: з'ясувати, що відбувалось перед Великим вибухом.

Сьогодні ми вміємо вимірювати швидкість, з якою від нас віддаляються далекі галактики. (Це вимірювання ґрунтується на ефекті Допплера, тобто зміні частоти світлових хвиль від об'єкта, який віддається або наближається.) Так ми визначаємо швидкість розширення Всесвіту. Тоді “прокручуємо відеозапис назад” і обчислюємо, коли саме відбувся початковий вибух. Це дуже схоже на те, як, аналізуючи палаючі уламки, що розлітаються від місця вибуху, визначають точний час самого вибуху. Саме таким способом ми визначили, що Великий вибух стався 13,7 мільярда років тому. Прикро однак те, що сучасний космічний апарат для дослідження реліктового випро-

мінювання Великого вибуху *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe* (Зонд мікрохвильової анізотронії імені Вілкінсона) може зазирнути в минуле тільки приблизно до 400 000 років після Великого вибуху. Відтак наші космічні апарати можуть сказати нам тільки те, що був вибух, однак не можуть пояснити, чому він стався, що саме вибухнуло і що спричинило цей вибух.

Саме тому проект *LISA* викликає такий ентузіазм. Ця антена вимірюватиме цілком новий тип випромінювання: гравітаційні хвилі, що утворились у мить Великого вибуху.

Щоразу, коли людство опанувало новий вид випромінювання, це змінювало наше уявлення про світ. Коли Галілей уперше використав оптичний телескоп, щоб досліджувати планети й зорі, народилась наука астрономія. Коли незабаром після Другої світової війни з'явилися радіотелескопи, нам відкрився Всесвіт з вибухами зірок і чорними дірами. Тепер же третє покоління телескопів, які можуть ресструвати гравітаційні хвилі, може відкрити нам іще захопливіші перспективи: світ із чорними дірами, що зіштовхуються, вищими вимірами і навіть Мультивсесвіт.

Попередньо запуск *LISA* заплановано на період від 2018 до 2020 року. Ця антена складається з трьох космічних апаратів, сполучених лазерними променями і розташованих у формі велетенського рівностороннього трикутника зі стороною приблизно 3 мільйони миль. Це буде найбільший космічний прилад, який будь-коли запускали в космос. Кожна гравітаційна хвиля від Великого вибуху, що досі вібрує у Всесвіті, легенько гойдатиме цю антену. Лазерні промені реагуватимуть на це збурення, а сенсори фіксуватимуть його частоту й інші властивості. Таким способом науковці мали б довідатись, яким був Усесвіт через якусь трильйонну частку секунди після Великого вибуху. (На думку Айнштайна, простір-час може стискатися й розтягуватися, як полотно. Від усякого значного збурення – зіткнення чорних дір чи Великого вибуху – утворюються брижі й розходяться по всьому полотну. Ці брижі, або гравітаційні хвилі, надто слабкі, щоб їх можна було виявити за допомогою звичайних приладів, однак *LISA* достатньо чутлива й велика, щоб зафіксувати вібрації, спричинені цими гравітаційними хвилями.)

*LISA* зможе не тільки зафіксувати випромінювання від зіткнення чорних дір, а й зазирнути в епоху до Великого вибуху, що раніше уважалося неможливим.

Сьогодні є кілька теорій стосовно епохи до Великого вибуху, всі вони походять із теорії струн – моєї наукової спеціальності. В одному сценарії наш Усесвіт – це велетенська бульбашка, що постійно розширюється. Ми живемо на оболонці цієї гігантської бульбашки (ми приклеєні до неї як мухи до клейкої стрічки). Але наш Усесвіт-бульбашка існує в океані інших усесвітів-бульбашок, які утворюють мультивсесвіт з усесвітів, що нагадує піну для ванни. Час до часу ці бульбашки можуть зіштовхуватись (це дає нам теорію “великого зіткнення”) або ж ділитись на менші бульбашки, а тоді розширюватися (це дає нам так зване “вічне розширення”). Кожна з цих теорій визначає, як саме Всесвіт має випромінювати гравітацію в перші миті після первинного вибуху. *LISA* зможе виміряти гравітаційне випромінювання від Великого вибуху й зіставити його з різними передбаченнями теорії струн. Таким способом *LISA*, можливо, спростує або підтвердить якісь із цих теорій.

Але навіть якщо *LISA* виявиться недостатньо чутливою для цього делікатного завдання, то, можливо, з ним упораються детектори наступного покоління (такі, як *Big Bang Observer* (*Спостережувач Великого вибуху*)).

Якщо ці проекти виявляться успішними, то вони зможуть відповісти на запитання, що залишалось загадкою багато сторіч: звідки з'явився Всесвіт? Отже, вже в близькому майбутньому з'ясувати походження Великого вибуху може стати реально можливо.

## ПІЛОТОВАНІ КОСМІЧНІ ПОЛЬОТИ

Роботизовані космічні апарати й надалі відкриватимуть нам нові перспективи для досліджень космосу, тим часом на шляху до пілотованих польотів стоять серйозні перешкоди. Річ у тім, що порівняно з пілотованими польотами, космічні роботи дешеві й універсальні; їх можна запускати в небезпечні середовища; вони не потребують дорогих систем життєзабезпечення і – найголовніше – вони не мусять повертатися на Землю.

У далекому 1969 році нам здавалось, що наші астронавти от-от почнуть досліджувати Сонячну систему. Ніл Армстронг і Базз Олдрін шойно прогулялися поверхнею Місяця, і люди вже мріяли про політ на Марс і далі. Здавалось, ми почали шлях до зірок. Перед людством відкривалась нова ера.

Потім ця мрія розсипалась.

Як висловився письменник-фантаст Айзек Азімов, ми забили гол, а тоді взяли м'яча й пішли додому. Сьогодні старі ракети-носії *Сатурн* простоюють у музеях або іржавіють на звалищах. Ціле покоління високопрофесійних науковців-ракетників залишилось без діла. Космічна гонка поступово вичахла. Сьогодні на згадки про славнозвісну прогулянку Місяцем можна натрапити хіба що в книжках з історії.

Що ж сталося? Чимало всього, у тому числі війна у В'єтнамі, Вотергейтський скандал і т. д. Але якщо відкинути все тимчасове й другорядне, то причину насправді можна окреслити одним словом: гроші.

Ми іноді забуваємо, що космічні польоти коштують дорого, дуже дорого. Запуск одного фунта будь-якого вантажу лише на навколоземну орбіту коштує 10 000 доларів. Уявіть собі Джона Гленна з чистого золота – й одержите якесь уявлення про вартість космічних польотів. Політ на Місяць коштував би приблизно 100 000 доларів з розрахунку на фунт ваги. А політ на Марс обійшовся би приблизно в мільйон доларів з розрахунку на фунт ваги (це вартість приблизно тієї самої ваги діамантів).

Утім, раніше все це ховалося за захопленням і азартом від змагання з росіянами. Видовищні трюки, що їх здійснювали хоробрі астронавти, заслонювали реальну вартість космічних польотів – держави готові були платити дорого, коли на карту було поставлено їхню національну честь. Однак навіть наддержави не “потягнуть” таких витрат упродовж багатьох десятиріч.

Сумно. Минуло вже понад триста років, відколи сер Ісаак Ньютон уперше записав закони руху, а ми й досі перебуваємо в полоні простого обчислення. Щоб запустити об'єкт на навколоземну орбіту, його треба розігнати до швидкості 18 000 миль на годину. Щоб послати об'єкт у далекий космос поза межі гравітаційного поля Землі, йому треба надати швидкості 25 000 миль на годину. (А щоб досягнути цього магічного числа 25 000 миль на годину, ми мусимо застосувати третій закон Ньютона: всяка дія породжує рівну протидію. Це означає, що ракета може швидко летіти вперед, тому що викидає в протилежному напрямі гарячі гази – так само повітряна кулька літатиме по кімнаті, якщо її надуті, а тоді, не зав'язавши, відпустити.) Відтак, знаючи закони Ньютона, легко обчислити вартість космічних польотів. Немає жодного закону фізики чи інженерії, який би забороняв нам досліджувати Сонячну систему; все впирається в гроші.

На додаток до всього, ракета мусить нести ще й власне паливо, а це ще збільшує її вагу. Літаки частково уникають цієї проблеми, оскільки можуть брати кисень з повітря за бортом і спалювати у двигуні. В космосі ж повітря немає, і ракета мусить нести з собою контейнери з киснем і воднем.

Це все не тільки зумовлює таку високу вартість космічних польотів, а й пояснює, чому ми й досі не маємо реактивних ранців і летючих автомобілів. Письменники-фантасти (не справжні науковці) яскраво змалювали, як одного дня ми всі надянемо реактивні ранці й полетимо на роботу або рушимо в недільну подорож на сімейному летючому авті. Багато хто розчарувався в футурологах, оскільки ці передбачення так і не збулися. (Саме тому тепер з'являється стільки статей і книжок із саркастичними заголовками на кшталт "Де мій реактивний ранець?") Однак щоб зрозуміти причину, достатньо здійснити просте обчислення. Реактивні ранці вже існують; насправді нацисти навіть використовували їх упродовж короткого часу в Другу світову війну. Річ у тім, що пероксид водню – звичне паливо для реактивних ранців – швидко вичерпується, і тому політ з реактивним ранцем триває в середньому лише кілька хвилин. Так само летючі автомобілі з вертолітними пропелерами спалюють величезну кількість пального, тож для пересічного мешканця передмістя такий транспортний засіб був би занадто дорогим.

## СКАСУВАННЯ МІСЯЧНОЇ ПРОГРАМИ

Саме через величезну вартість космічних польотів майбутнє пілотованого дослідження космосу сьогодні таке непевне. Попередній президент Джордж Буш свого часу представив чіткий, однак амбітний проект космічної програми. По-перше, космічний човник передбачалося зняти з експлуатації 2010 року і замінити 2015 року новою ракетною системою з назвою *Constellation* (*Сузір'я*). По-друге, до 2020 року астронавти мали повернутися на Місяць і за якийсь час створити там базу, де б могли постійно перебувати люди. По-третє, це підготувало б ґрунт для пілотованого польоту на Марс.

Однак відтоді економіка космічних польотів істотно змінилась – особливо через Велику рецесію, яка спустошила бюджет майбутніх космічних місій. Комісія Огастіна у своїй доповіді президентові Бараку Обамі 2009 року зробила висновок, що за сучасного рівня

фінансування попередній план виконати неможливо. 2010 року президент Обама, взявши до уваги рекомендації Комісії Огастіна, закрив і програму *Космічний човник*, і її наступницю, що мала створити ґрунт для повернення на Місяць. Найближчим часом НАСА, не маючи власних ракет, щоб посилати наших астронавтів у космос, буде змушене покладатися на росіян. З іншого боку, для приватних компаній з'явилась нагода створювати ракети, що потрібні для продовження пілотованої космічної програми. Зрікшись минулих традицій, НАСА більше не створюватиме ракет для пілотованої космічної програми. Прихильники плану Обама кажуть, що цей план символізує початок нової ери космічних польотів, коли головним рушієм стає приватна ініціатива. Критики ж стверджують, що цей план перетворить НАСА на “агентство без мети”.

## ПОСАДКА НА АСТЕРОЇД

Комісія Огастіна запропонувала у своїй доповіді так званий гнучкий шлях, що охоплює декілька скромних цілей, які не вимагають надто багато ракетного палива, – наприклад, подорож до близького астероїда, який саме пролітатиме повз Землю, або ж подорож до місяців Марса. У доповіді було зазначено, що можливо, такого астероїда ще навіть немає на наших картах неба; це може бути якийсь блукаючий астероїд, що його відкриють у близькому майбутньому.

Проблема полягає в тому, йшлося в доповіді Комісії, що вартість ракетного палива, яке потрібне для посадки на Місяць – а тим більше на Марс – і повернення назад, була б непідйомною. Тим часом астероїди й місяці Марса мають дуже слабке гравітаційне поле, тому польоти до них не потребували б стільки ракетного палива. У доповіді Комісії Огастіна згадувалась також можливість відвідання точок Лагранжа, тобто таких місць у відкритому космосі, де сили тяжіння Землі й Місяця взаємно нейтралізуються. (Можливо, ці точки слугують таким собі космічним звалищем, де назбирались космічні уламки від початку існування Сонячної системи, тож астронавти могли б знайти там цікаві камені, що походять із часу формування системи Земля–Місяць.)

Посадка на астероїд справді була б недорогим проектом, оскільки астероїди мають дуже слабке гравітаційне поле. (Це також становить причину того, що астероїди переважно мають неправильну



форму, радше ніж круглу. Всі великі об'єкти у Всесвіті – зірки, планети й місяці – круглі, тому що сила тяжіння рівномірно стягує їх до центру. Усяка неправильність у формі планети поступово зникає водночас із тим, як сила тяжіння стискає її кору. Однак сила тяжіння астероїда настільки слабка, що не може стиснути його в кулю.)

Один із можливих об'єктів для такої місії – астероїд Апофіс, що пройде небезпечно близько від Землі 2029 року. Апофіс має в перерізі близько 1000 футів – як великий футбольний стадіон; він наблизиться до Землі настільки, що, фактично, пролетить попід деякими нашими штучними супутниками. Залежно від того, як зміниться орбіта цього астероїда внаслідок взаємодії з Землею, він може повернутися 2036 року, і є навіть малесенька ймовірність (один шанс зі 100 000), що тоді він зіткнеться з Землею. Якби таке сталося, цей удар мав би силу 100 000 хіросімських бомб – достатню, щоб знищити територію завбільшки як Франція вогняними бурями, ударними хвилями й розжареними уламками. (Для порівняння: значно менший об'єкт, розміром, мабуть, із багатоповерхівку, впав поблизу сибірської ріки Підкам'яна Тунгуска 1908 року; вибух мав силу тисячі хіросімських бомб і знищив 1000 квадратних миль лісу, ударну хвилю було відчутно на кілька тисяч миль. Крім того, в небі над Азією і Європою з'явилося дивне світіння, так що в Лондоні люди могли вночі читати газети.)

Сам політ до Апофіса не дуже обтяжив би бюджет НАСА, оскільки цей астероїд так чи інакше пролетить недалеко від Землі, однак посадка на нього може становити проблему. З огляду на слабке гравітаційне поле астероїда космічний корабель мав би, фактично, зістикуватися з ним, радше ніж сісти на нього в традиційному сенсі. Крім того, астероїд, очевидно, обертається нерівномірно, отже, перед посадкою треба зробити точні вимірювання. Було б цікаво дізнатися, наскільки твердий цей астероїд. Дехто вважає, що астероїд – це просто купа каміння, що тримається разом завдяки слабкому гравітаційному полю. Інші думають, що астероїди тверді. Визначення щільності астероїда в перспективі може мати для нас велике значення – якщо колись нам доведеться дробити астероїд за допомогою ядерної зброї. Замість розсипатись на порошок, астероїд може розколоти на кілька великих шматків. У такому разі ці уламки можуть становити більшу загрозу, ніж цілий астероїд. Можливо, кращий вихід – легенько “підштовхнути” астероїд і змінити його траєкторію, ще допоки він наблизиться до Землі.

## ПОСАДКА НА СУПУТНИК МАРСА

Комісія Огастіна не рекомендувала пілотованого польоту на Марс, однак є інший цікавий варіант – послати астронавтів на супутники Марса: Фобос і Деймос. Ці супутники значно менші, ніж наш Місяць, а отже, мають дуже слабе гравітаційне поле. Окрім заощадження коштів, висадка на супутниках Марса має ще декілька переваг.

1. По-перше, ці супутники можна було б використовувати як космічні станції. Це був би дешевий спосіб досліджувати Марс із космосу, не висаджуючись на ньому.
2. По-друге, вони можуть колись забезпечити нам легкий доступ до Марса. Відстань від Фобоса до центра Марса – менше 6000 миль, відтак долетіти звідти до Червоної планети можна всього за кілька годин.
3. На цих супутниках, мабуть, є печери; їх можна було б використати для постійної жилої бази, яка була б захищена від метеоритів та космічної радіації. Зокрема, Фобос має збоку величезний кратер Стікні – ймовірно, слід від удару якогось величезного метеорита, що ледь не розколов цей супутник на частини. Однак сила тяжіння поступово знову стягнула уламки до купи й відновила супутник. Мабуть, від цього давнього зіткнення на Фобосі залишилось чимало печер і розщелин.

## ПОВЕРНЕННЯ ДО МІСЯЦЯ

У доповіді Комісії Огастіна також згадано програму *Moon First* (Місяць передусім), яка передбачає відновлення польотів на Місяць, але тільки за наявності більшого фінансування – принаймні 30 мільярдів доларів протягом десяти років. Оскільки це малоімовірно, то місячну програму, по суті, припинено – принаймні на найближчі роки.

Скасована місячна програма, що мала назву *Constellation* (Сузір'я), складалася з кількох основних компонентів. По-перше, це ракета-носій *Арес*, перша вантажна ракета-носій США відтоді, як стару ракету *Сатурн* зняли з експлуатації ще в 1970-х роках. По-друге, це космічний корабель *Оріон*, здатний доставити шістьох астронавтів до космічної станції або ж чотирьох – до Місяця. І, нарешті, місячний модуль *Альтаїр*, який власне мав здійснити посадку на Місяць.

Конструкція старого космічного човника, де корабель прикріплювався збоку ракети-носія, мала низку недоліків – зокрема існувала небезпека, що ракета-носієм губитиме шматки теплоізолювальної піни. Це обернулось катастрофою для космічного човника *Колумбія*, який згорів 2003 року при поверненні на Землю, забравши життя сімох хоробрих астронавтів, – причиною було те, що під час старту шматок теплоізолювальної піни ракети-носія впав на ліве крило корабля і пробив у ньому діру. При вході в атмосферу гарячі гази проникли в корпус *Колумбії*, вбили всіх усередині і зруйнували корабель. У програмі *Constellation* модуль для екіпажу планувалось розмістити просто на вершечку ракети-носія, тож такої проблеми більше не існувало б.

Преса нарекла програму *Constellation* “програмою *Аполлон* на стероїдах”, бо вона здавалась дуже схожою на місячну програму 1970-х років. Ракета-носієм *Ares I* мала бути 325 футів заввишки – майже як *Сатурн V*, чия висота становить 363 фути. Припускалось, що *Ares I* виводитиме в космос пілотований корабель *Orion*, замінивши старий космічний човник. Однак для дуже великих вантажів НАСА планувало використовувати ракету *Ares V* заввишки 381 фут, здатну виводити в космос 207 тон вантажу. Ракета *Ares V* мала стати стрижнем будь-якої місії на Місяць чи Марс. (Хоч розробку ракет *Ares* припинено, точаться розмови про можливе збереження деяких компонентів для майбутніх космічних місій.)

## ПОСТІЙНА БАЗА НА МІСЯЦІ

Скасувавши програму *Constellation*, президент Обама залишив, однак, кілька варіантів. Космічний корабель *Orion*, який мав доставити наших астронавтів до Місяця, тепер розглядають як рятувальну капсулу для Міжнародної космічної станції. Можливо, колись у майбутньому, коли економіка підніметься, якась інша адміністрація знову зацікавиться Місяцем і в тому числі створенням місячної бази.

Створення постійної жилої бази на Місяці ускладнюється багатьма проблемами. Перша – це мікрометеорити. Оскільки на Місяці немає повітря, на нього часто падає каміння з космосу. У цьому легко пересвідчитись, уважно подивившись на місячну поверхню – вона всуціль усіяна слідами від ударів метеоритів; деяким із них мільярди років.

Я мав нагоду спостерігати ефект цього явища на власні очі, коли вчився в Каліфорнійському університеті в Берклі. Зразки місячних порід, що їх астронавти привезли з космосу на початку 1970-х років, стали справжньою сенсацією в науковому світі. Мене запросили до лабораторії, де ці зразки досліджували під мікроскопом. На перший погляд камінь, який я побачив, здавався звичайним каменем, оскільки місячні породи дуже схожі на земні, однак, подивившись у мікроскоп, я був вражений. На цьому камені я побачив малесенькі метеоритні кратери, а всередині них – іще менші кратери. Кратери всередині кратерів усередині кратерів – нічого схожого я ще в житті не бачив. Я миттю збагнув, що за відсутності атмосфери навіть найменша порошинка, що летить зі швидкістю 40 000 миль на годину, легко може вбити людину чи принаймні продірявити скафандр. (Науковці належно оцінюють величезну шкоду від мікрометеоритів, оскільки вміють імітувати ці зіткнення – для цього в лабораторіях створено потужні гармати, що стріляють металевими кульками.)

Одне можливе вирішення – створити базу під поверхнею Місяця. З уваги на давню вулканічну активність Місяця є шанс, що нашим астронавтам вдасться знайти лавовий тунель, який би простягався далеко вглиб Місяця. (Лавові тунелі утворені давніми потоками лави, що вирізали в ґрунті печеровидні порожнини й тунелі.) У 2009 році астрономи виявили лавовий тунель завбільшки з хмарочос, що міг би послугувати місцем для постійної бази на Місяці.

Така природна печера могла б забезпечити нашим астронавтам дешевий захист від космічних променів і сонячних спалахів. Навіть під час трансконтинентального перельоту з Нью-Йорка до Лос-Анджелеса ми піддаємося опроміненню на рівні одного мілібара на годину (що рівнозначне рентгенівському знімку в стоматолога). На Місяці радіація може виявитись настільки сильною, що астронавти будуть змушені мешкати глибоко під поверхнею. За відсутності атмосфери смертоносний дощ із сонячних спалахів і космічних променів був би для астронавтів дуже небезпечним і міг би спричинити передчасне старіння чи навіть рак.

Невагомість – це теж проблема, особливо у випадку тривалих космічних місій. Я мав нагоду побувати в тренувальному центрі НАСА в Клівленді, де з астронавтами проводять різноманітні експерименти. В одному такому експерименті піддослідного підвісили на спеціальних пасках, так що його тіло розташувалося паралельно до підлоги. Тоді він почав бігти по біговій доріжці, розташованій

вертикально. Таким способом науковці НАСА імітують невагомість і випробовують витривалість піддослідного.

Із розмови з лікарями НАСА я дізнався, що невагомість завдає організмові більшої шкоди, ніж я думав раніше. Один лікар пояснив мені, що тепер, коли американські й російські астронавти ось уже кілька десятиріч літають у космос і тривалий час перебувають в умовах невагомості, науковці розуміють, що від цього в людському організмі відбуваються значні зміни: слабшають м'язи, кістки й серцево-судинна система. Людський організм еволюціонував упродовж мільйонів років, увесь час перебуваючи в гравітаційному полі Землі. Якщо людина потрапляє в слабше гравітаційне поле на тривалий час, усі її біологічні процеси порушуються.

Російські астронавти, що провели в космосі близько року, повертаються на Землю такі ослаблені, що насилу можуть повзти. Навіть якщо щодня робити фізичні вправи, м'язи в космосі атрофуються, кістки втрачають кальцій, а серцево-судинна система починає слабшати. Декому для відновлення сил потрібно кілька місяців, а деякі зміни можуть виявитися незворотними. Політ на Марс може зайняти два роки, і за цей час наші астронавти можуть так виснажитись, що, прибувши на місце, будуть не в стані виконувати свою місію. (Один спосіб розв'язання цієї проблеми – розкрутити космічний корабель, від чого всередині нього утвориться штучне тяжіння. Це той самий принцип, завдяки якому можна крутити над головою відро з водою, і вода з нього не вилитиметься. Але це страшенно дорого, оскільки щоб обертати корабель, потрібне важке обладнання. Кожний фунт додаткової ваги збільшує вартість місії на 10 000 доларів.)

## ВОДА НА МІСЯЦІ

Одне недавнє відкриття може серйозно вплинути на характер майбутньої місячної програми: на Місяці виявили лід, що, ймовірно, залишився від давніх зіткнень із кометами.<sup>2</sup> У 2009 році місячний зонд НАСА *LCROSS* (*Lunar CRater Observation and Sensing Satellite* – Космічний апарат для спостереження і зондування місячних кратерів) і його ракета-носії *Centaur* врізалися в Місяць на швидкості 5600 миль на годину поблизу його південного полюса. Утворився факел з пилу заввишки майже з миллю і кратер діаметром приблизно 60 футів. Телеглядачі були розчаровані відсутністю обіцяного видо-

вищого вибуху, однак це зіткнення дало багато важливої наукової інформації. У пилі, що здійнявся над поверхнею, виявили близько 24 галонів води. А 2010 року науковці зробили приголомшливе відкриття: ті уламки порід на 5 відсотків складаються з води – отже, Місяць насправді вологіший за деякі ділянки пустелі Сахара.

Ця інформація може мати велике значення – вона може означати, що в майбутньому астронавти зможуть використовувати поклади льоду під поверхнею Місяця для ракетного палива (добуваючи з води водень), для дихання (добуваючи кисень), для захисту (оскільки вода поглинає радіацію) і для пиття, очистивши цю воду. Отже, це відкриття може здешевити майбутні польоти на Місяць на сотні мільйонів доларів.

Це відкриття також може означати, що наші астронавти зможуть використовувати природні ресурси Місяця – лід і мінерали – для створення і подальшого постачання постійної бази на Місяці.

## **СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)**

### **ПОЛІТ НА МАРС**

Президент Обама, приїхавши 2010 року до Флориди, щоб оголосити про скасування місячної програми, водночас залишив можливість для польоту на Марс. Він підтримав фінансування наразі ще не визначеної важкої ракети-носія, яка мала б колись доправити астронавтів у дальній космос, за межі орбіти Місяця. Президент припустив, що, можливо, він доживе до того дня, коли – мабуть, десь у середині 2030-х років – наші астронавти ступлять на поверхню Марса. Дехто з астронавтів, зокрема Базз Олдрін, завзято підтримав план Обами, оскільки в ньому не йшлося про Місяць. Олдрін якось мені сказав, що на Місяці Сполучені Штати вже побували, отже, справжньої пригодою тепер буде тільки політ на Марс.

Із усіх планет Сонячної системи тільки Марс здається достатньо схожим на Землю, щоб містити на собі якісь форми життя. (Нещадно розпечений Сонцем Меркурій, мабуть, надто непривітний, щоб там існувало життя в тих формах, які ми знаємо. Газові ж гіганти – Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун – надто холодні для життя. Венера – це

двійник Землі, однак нестримний парниковий ефект перетворив її на справжнісіньке пекло: температура там сягає 900° за Фаренгайтом, атмосфера складається здебільшого з вуглекислого газу і в 100 разів щільніша за нашу, а з неба ллє дощ із сірчаної кислоти. Опинившись на Венері, ви б задихнулися і вас би розчавило на смерть, а ваші останки згоріли б на попіл і розчинилися б у сірчаній кислоті.)

Тим часом Марс колись був вологою планетою, як і Земля, з океанами й річками, які давно пересохли. Сьогодні це мертва замерзла пустеля. Мабуть, мільярди років тому на Марсі буяло мікробне життя; можливо, якісь бактерії живуть там і донині десь у гарячих джерелах під поверхнею планети.

Від моменту, коли наша держава твердо вирішить летіти на Марс, до самого здійснення цієї космічної місії може проминути ще 20-30 років. Дістатися до Марса буде набагато важче, ніж до Місяця. Порівняно з Місяцем, Марс – це набагато вищий рівень складності. Долетіти до Місяця можна за три дні. Летіти до Марса доведеться півроку-рік.

У липні 2009 року науковці НАСА спробували уявити, як могла б реально виглядати місія на Марс. Близько шести місяців чи й більше астронавти летіли б до Марса, тоді провели б вісімнадцять місяців на самій планеті, а тоді ще шість місяців летіли б назад.

Загалом до Марса треба було б доправити близько 1,5 мільйона фунтів обладнання – це більше, ніж потрібно для космічної станції вартістю 100 мільярдів доларів. Аби заощадити на їжі й воді, астронавтам довелося б очищати власні відходи й використовувати їх для удобрення рослин під час польоту і власне перебування на Марсі. Оскільки на Марсі немає ні повітря, ні ґрунту, ні води, все треба було б привезти з собою. Використовувати природні ресурси Марса було б неможливо, бо там немає ні кисню, ні рідкої води, ні тварин, ні рослин. Атмосфера складається майже з самого вуглекислого газу, а атмосферний тиск становить тільки один відсоток від земного. Найменша дірка в скафандрі означала б швидкий спад тиску і смерть.

Ця місія була б настільки складна, що її б довелося поділити на кілька кроків. Оскільки везти з собою паливо на зворотний шлях до Землі було б надто дорого, до Марса можна було б завчасно послати окрему ракету з паливом для дозаправки космічного корабля. (Або ж, якщо з льоду на Марсі вдалося б добути достатньо кисню й водню, то їх теж можна було б використати як ракетне паливо.)

Коли астронавти дістануться Марса, їм, можливо, буде потрібно кілька тижнів, щоб призвичаїтись до життя на іншій планеті. Цикл

дня і ночі на Марсі приблизно такий самий, як на Землі (доба триває 24,6 години). Але рік майже вдвічі довший. Температура на Марсі майже ніколи не піднімається вище точки замерзання води. Пилові бурі там несамопиті. Пісок має консистенцію, як тальк, а пилові бурі нерідко охоплюють цілу планету.

## ТЕРРАФОРМУВАТИ МАРС?

Якщо припустити, що до середини сторіччя астронавти побувають на Марсі й створять там якусь примітивну базу, то існує також можливість, що астронавти намагатимуться терраформувати Марс – тобто зробити цю планету придатнішою для життя.

Науковці вже розглянули кілька способів, як можна було б терраформувати Марс. Мабуть, найпростіше було б пустити в його атмосферу метан або якісь інші парникові гази. Оскільки метан – навіть потужніший парниковий газ, ніж двоокис вуглецю, то, можливо, метан утримував би в атмосфері Марса сонячне світло і температура на поверхні планети поступово піднялася б вище від точки замерзання. Крім метану, для майбутнього терраформування Марса можуть згодитися й інші парникові гази, зокрема аміак і фреон.

Щойно температура почне підвищуватись, вічна мерзлота може почати розтавати – вперше за мільярди років. Русла річок наповняться водою. За якийсь час, коли атмосфера стане щільнішою, на Марсі можуть знов утворитися озера й навіть океани. Від цього вивільнитиметься ще більше вуглекислого газу – почнеться позитивна “ланцюгова реакція”.

У 2009 році з’ясувалося, що метан природним способом виділяється з поверхні Марса. Походження цього газу досі залишається таємницею. На Землі метан утворюється здебільшого в результаті гниття органічних матеріалів. Тим часом на Марсі метан може бути побічним продуктом якихось геологічних процесів. Якби науковцям удалося визначити джерело цього метану, то, можливо, вдалося б і збільшити його обсяг і таким чином змінити атмосферу Червоної планети.

Інший варіант – скерувати в атмосферу Марса якусь комету. Якби вдалося перехопити комету на достатньо великій відстані, то навіть легенький поштовх ракетного двигуна чи зіткнення з космічним зондом або й навіть просто сила тяжіння космічного корабля могли б змінити її траєкторію. Комети складаються переважно з замерзлої



води і час до часу пролітають крізь нашу Сонячну систему. (Прикладом, ядро комети Галлея – за формою схоже на арахісовий горіх – має близько двадцяти миль у діаметрі й складається здебільшого з криги й каменю.) Наближаючись до Марса, комета почне зазнавати тертя об його атмосферу і повільно розпадатися, вивільняючи в атмосферу воду у вигляді пари.

Якщо відповідної комети не виявиться, то можна було б спробувати змінити траєкторію одного з крижаних супутників Юпітера або ж якогось астероїда, що містить кригу, – наприклад, Церери, яка, за припущеннями науковців, на 20 відсотків складається з води. (Змінити траєкторії цих супутників і астероїдів було б складніше, оскільки зазвичай вони перебувають на стабільних орбітах.) Можна було б залишити цю комету, супутник чи астероїд повільно розпадатися на орбіті довкола Марса, вивільняючи водяну пару; або ж можна було б спровокувати зіткнення цього небесного тіла з однією з полярних шапок Марса. Полярні регіони Марса складаються з замерзлого вуглекислого газу, який зникає протягом літніх місяців, і криги, що становить постійну частину льодових шапок. Якщо комета, супутник чи астероїд упаде на льодову шапку, то від цього вивільниться величезний обсяг тепла й суха крига випарується. Від вуглекислого газу на Марсі ущільниться атмосфера і пришвидшиться глобальне потепління. Може виникнути позитивна “ланцюгова реакція”: чим більше вуглекислого газу вивільнятиметься з полярних шапок, тим теплішою ставатиме планета, а від цього вивільнятиметься ще більше вуглекислого газу.

Інша пропозиція – підірвати на полярних льодових шапках кілька ядерних бомб. Недолік цього методу полягає в тому, що рідка вода, яка з’явиться в результаті вибухів, може бути радіоактивною. Або ж можна спробувати створити термоядерний реактор, який би розтоплював кригу полярних шапок. Основним паливом для термоядерних реакторів слугує вода, а замерзлої води на Марсі вдосталь.

Коли температура на Марсі підвищиться до точки розтавання криги, то, ймовірно, там з’являться водойми, в які можна буде занести деякі форми водоростей, що чудово ростуть в Антарктиці. Цілком можливо, що їм дуже пасуватиме атмосфера Марса, яка на 95 відсотків складається з вуглекислого газу. Ці водорості можна було б навіть модифікувати генетично, щоб вони швидше росли на Марсі. Водойми з водоростями могли б пришвидшити терраформування в кількох аспектах. По-перше, вони б перетворювали вуглекислий газ на кисень. По-друге, завдяки їм поверхня Марса потемнішала б, а отже почала б

поглинати більше сонячного тепла. По-третє, оскільки вони ростуть самостійно, без жодної сторонньої допомоги, це був би відносно дешевий спосіб змінити довкілля на планеті. По-четверте, водорості можна використовувати в їжу. З часом такі озера з водоростями створять ґрунт і поживні речовини, що можуть бути придатними для рослин, а ті, своєю чергою, пришвидшать виробництво кисню.

Науковці також розглядають можливість оточити Марс супутниками, які б відбивали сонячне світло на його поверхню. Можливо, такі супутники навіть самі по собі змогли б нагріти поверхню Марса до рівня, вищого за точку замерзання води. Щойно це станеться й вічна мерзлота почне розтавати, надалі планета нагріватиметься самостійно природним способом.

### ЕКОНОМІЧНІ ВИГОДИ?

Не варто плекати ілюзій стосовно того, що колонізація Місяця й Марса відразу принесе нам економічні вигоди. Колумб, рушивши 1492 року до Нового Світу, несподівано відкрив європейцям доступ до небачених скарбів. Незабаром конкістадори почали присилати на батьківщину гори золота, яке вони награвували в корінних американців, а поселенці – цінну сировину й сільськогосподарські культури. Витрати на експедиції до Нового Світу з лихвою компенсувалися тим казковим багатством, яке можна було там нажити.

Але колонії на Місяці чи Марсі – це інший випадок. Там немає ні повітря, ні рідкої води, ні родючого ґрунту, тож усе доведеться доправляти ракетами з Землі, а це страшенно дорого.

До того ж колонізація Місяця практично не має військової цінності, принаймні в найближчій перспективі. Щоб долетіти до Місяця з Землі чи у зворотному напрямку, потрібно в середньому три дні, а ядерну війну можна виграти лише за дев'яносто хвилин за допомогою міжконтинентальних балістичних ракет. Космічна кавалерія з Місяця просто не встигне взяти участь у бою на Землі. Саме тому Пентагон і не фінансує жодних серйозних програм використання Місяця з військовою метою.

Це означає, що якщо ми й почнемо серйозно освоювати природні ресурси в інших світах, то це буде задля блага космічних колоній, а не Землі. Космічні поселенці добуватимуть метали й інші мінерали для власних потреб, оскільки доправляти їх на Землю було б надто

дорого. Добувати корисні копалини в поясі астероїдів стане економічно вигідно лише тоді, коли у нас з'являться самодостатні колонії, що зможуть використовувати цю сировину самі, а це станеться хіба що аж наприкінці цього сторіччя чи – що ймовірніше – ще пізніше.

## КОСМІЧНИЙ ТУРИЗМ

То коли ж звичайна цивільна людина зможе полетіти в космос? Деякі провидці (такі, як покійний Джерард О'Нейлл із Принстонського університету) мріяли про космічну колонію у вигляді величезного колеса, на якому були б розташовані житлові приміщення, водоочисні споруди, установки для регенерації повітря і т. д., – і все це для того, щоб розв'язати проблему перенаселення на Землі. Однак у XXI сторіччі ідея, що космічні колонії можуть вплинути на проблему перенаселення, – лише фантазія. Для більшості людства Земля залишатиметься єдиною домівкою принаймні ще сторіччя або й довше.

Утім, є один спосіб, як пересічна людина може реально полетіти в космос: як турист. Деякі підприємці, критикуючи НАСА за величезне марнотратство і бюрократію, вважають, що знизити вартість космічних польотів можна за допомогою ринкових механізмів. 4 жовтня 2004 року Берт Рутан і його інвестори вже виграли премію *Ansari X Prize* сумою 10 млн. доларів за те, що двічі запустили свій космічний корабель *SpaceShipOne* упродовж двох тижнів на висоту трохи більше, ніж 62 милі над землею. *SpaceShipOne* – перший ракетний корабель, що успішно здійснив подорож у космос за приватні кошти. Вартість цього проекту становила близько 25 мільйонів доларів. Гарантом для кредиторів виступив мільярдер Пол Аллен з корпорації *Microsoft*.

Тепер, коли вже є *SpaceShipTwo*, Рутан сподівається розпочати випробування, щоб зробити комерційні польоти в космос реальністю. Мільярдер Річард Бренсон із британської авіакомпанії *Virgin Atlantic* заснував космічно-туристичну компанію *Virgin Galactic* із космодромом у Нью-Мексико і довгим списком людей, готових заплатити 200 000 доларів за те, щоб здійснити свою мрію про політ у космос. *Virgin Galactic* – перша серйозна компанія, що пропонуватиме комерційні польоти в космос, – уже замовила п'ять кораблів *SpaceShipTwo*. Якщо цей проект матиме успіх, то вартість космічних подорожей може знизитися вдесятеро.

*SpaceShipTwo* заощаджує витрати кількома способами. Замість того, щоб доправляти корисний вантаж у космос за допомогою величезних ракет-носіїв, Рутан розташовує свій космічний корабель на літаку зі стандартними повітряно-реактивними двигунами. Відтак під час польоту в межах атмосфери двигуни споживають кисень з атмосфери. Потім на висоті приблизно 10 миль над землею космічний корабель відокремлюється від літака і вмикає власні ракетні двигуни. Вийти на навколоземну орбіту цей космічний корабель не може, однак має достатньо палива, щоб піднятися майже на 70 миль над землею – туди, де закінчується атмосфера й де пасажирів зможуть побачити, як небо поступово стає пурпуровим, а потім чорним. Ракетні двигуни достатньо потужні, щоб розвинути швидкість 3 Маха, тобто втричі більшу за швидкість звуку (приблизно 2200 миль на годину). Цього, звісно, не достатньо, щоб вивести корабель на орбіту (для цього потрібна швидкість 18 000 миль на годину), але достатньо, щоб долетіти до краю атмосфери й початку відкритого космосу. Цілком можливо, що в близькому майбутньому туристичний політ у космос коштуватиме не більше, ніж сафари в Африці.

(Утім, щоб облетіти довкола Землі, вам доведеться заплатити значно більше – за те, щоб дістатися на борт космічної станції. Якось я спитав мільярдера з корпорації *Microsoft* Чарлза Сімоні, скільки йому коштував квиток до Міжнародної космічної станції. У пресі називали суму близько 20 мільйонів доларів. Сімоні не схотів називати точної цифри, однак сказав, що інформація в пресі була не надто далека від дійсності. Йому так сподобалося в космосі, що пізніше він полетів іще раз. Отже, космічний туризм – навіть у близькому майбутньому – залишатиметься привілеєм заможних людей.)

У вересні 2010 року космічний туризм одержав новий стимул, коли корпорація *Boeing* оголосила, що теж виходить на цей ринок і що перші комерційні польоти для туристів заплановано вже на 2015 рік. Це зміцнило б рішення президента Обами передати пілотовану космонавтику приватному сектору. Корпорація *Boeing* планує запускати космічний корабель до Міжнародної космічної станції з мису Канаверал; у цьому кораблі має бути чотири члени екіпажу і ще залишатиметься до трьох вільних місць для космічних туристів. Однак *Boeing* чітко висловився про фінансування приватних подорожей у космос: більшість витрат мусить лягти на плечі платників податків. “Це непевний ринок, – каже Джон Елбон, керівник програми комерційних космічних польотів. – Якби за всіх наявних чинників ризи-

ку нам довелося робити це суто коштом *Боїнга*, то ми б не змогли скласти техніко-економічного обґрунтування проекту”.<sup>3</sup>

## АЛЬТЕРНАТИВНІ ІДЕЇ

Величезна вартість космічних польотів стримує і комерційний, і науковий поступ, відтак нам потрібна якась нова революційна модель. До середини сторіччя науковці й інженери працюватимуть над новими технологіями ракет-носіїв, аби знизити вартість подорожей у космос.

Фізик Фріман Дайсон виокремив декілька експериментальних конструкцій, що можуть колись зробити небеса доступними для пересічної людини.<sup>4</sup> Усі ці ідеї дуже ризикові, однак вони могли б кардинально зменшити вартість космічних польотів. Перша – це “лазерний двигун”: на днище ракети скеровують потужний лазерний промінь, той спричиняє міні-вибух, і ударна хвиля штовхає ракету вперед. Безперервні лазерні вибухи випаровують воду, це розганяє ракету і несе в космос. Велика перевага системи лазерної тяги полягає в тому, що енергія надходить від установки, розташованої на Землі. Лазерна ракета взагалі не містить палива. (Хімічні ж ракети витрачають значну частку енергії на транспортування в космос власного палива.)

Технологію системи лазерної тяги вже було продемонстровано, перше успішне випробування моделі відбулося 1997 року. Лейк Мірабо з Політехнічного інституту Ренсселера в Нью-Йорку створив робочі прототипи такої ракети, які він називає “демонстраторами літальних апаратів з лазерним двигуном”. Одна з його перших моделей мала в діаметрі шість дюймів і важила дві унції. Лазер потужністю 10 кВт генерував низку вибухів знизу ракети, що звучали як кулеметна черга; повітряні ударні хвилі штовхали ракету з прискоренням 2 g (це вдвічі більше за прискорення вільного падіння на Землі і становить 64 фути на секунду в квадраті). Мірабо вдалося сконструювати ракети з лазерним двигуном, що піднялися в повітря більше, ніж на 100 футів (ці ракети можна розглядати як відповідники перших ракет на рідкому паливі Роберта Годдарда в 1930-х роках).

Дайсон мріє, що колись системи лазерної тяги виводитимуть на земну орбіту великі вантажі лише за 5 доларів з розрахунку на фунт

ваги, і це здійснить справжню революцію в космічній галузі. Він уявляє велетенський лазер потужністю 1000 мегават, що зможе вивести на орбіту двотонну ракету (це дорівнює потужності стандартної атомної електростанції). Ракета складається з корисного вантажу й баку з водою на дні ракети; вода повільно просочується крізь малесенькі отвори в дні. І корисний вантаж, і бак з водою важать по одній тоні. Коли лазерний промінь потрапляє на низ ракети, вода миттєво випаровується, створюючи низку ударних хвиль, які штовхають ракету в космос. Ракета досягає прискорення 3 g і виходить за межі гравітаційного поля Землі за шість хвилин.

Оскільки така ракета взагалі не містить палива, то немає й загрози катастрофічного вибуху носія. Хімічні ракети – навіть сьогодні, коли від початку космічної ери минуло вже п'ятдесят років, – мають ризик аварії близько одного відсотка. І ці аварії дуже видовищні – летке кисневе й водневе паливо вибухає величезними вогняними кулями, а уламки сиплються дощем на весь космодром. Лазерна ж система, навпаки, проста, безпечна, її можна використовувати багаторазово через дуже малі проміжки часу, і для її функціонування потрібні тільки вода й лазер.

Щобільше, ця система з часом окупиться. Якщо за її допомогою запускати півмільйона космічних кораблів на рік, то плата за ці запуски може легко перекрити й операційні витрати, і вартість розробки системи. Втім, Дайсон розуміє, що до здійснення цієї мрії мусить проминути ще багато десятиріч. Для фундаментальних досліджень надпотужних лазерів потрібно таке фінансування, яке значно перевищує можливості будь-якого університету. Якщо цей проект не профінансує якась солідна корпорація або уряд, то система лазерної тяги не з'явиться ніколи.

Ось тут могла би стати в пригоді премія *X Prize*. Якось я розмовляв з Пітером Діамандісом, який заснував фонд *X Prize* ще 1996 року, і дізнався, що той чітко усвідомлює недоліки хімічних ракет. Навіть у випадку *SpaceShipTwo*, зізнався мені Діамандіс, існувала та проблема, що хімічні ракети – це дорогий спосіб вирватися з гравітаційного поля Землі. Відтак одну з майбутніх премій *X Prize* одержить той, хто зуміє створити ракету, що рухатиметься за допомогою променя енергії. (Однак замість лазерного променя ця ракета мала б використовувати схоже джерело електромагнітної енергії – мікрохвильовий промінь.) Можливо, широка реклама премії *X Prize* і перспектива одержати багатомільйонну нагороду послужать достатнім

стимулом для підприємців і винахідників, щоб створити нехімічні ракети, зокрема мікрохвильову ракету.

Є й інші експериментальні ракетні конструкції, але вони пов'язані з іншими ризиками. Один варіант – газова гармата, що вистрілює з величезного дула своєрідні “снаряди”, – шось на кшталт ракети в романі Жуля Верна *Із Землі на Місяць*. Однак ракета Верна не долетіла б до космосу, оскільки порох не може розігнати снаряд до швидкості 25 000 миль на годину – саме така швидкість потрібна, щоб вирватися з гравітаційного поля Землі. Тим часом у газовій гарматі снаряди вилітають з величезною швидкістю під дією стиснутого газу, що міститься в довгій трубі. Покійний Абрагам Герцберг із Вашингтонського університету в Сієтлі сконструював прототип такої гармати діаметром чотири дюйми і довжиною тридцять футів. Газ усередині цієї гармати – це суміш метану з повітрям, стиснута до двадцяти п'яти атмосфер. Якщо цей газ запалити, то корисний вантаж розганяється в дулі з неймовірним прискоренням 30 000 g – при такому прискоренні більшість металевих об'єктів сплющуються.

Герцберг довів, що газова гармата може функціонувати. Проте, щоб запустити корисний вантаж у відкритий космос, дуло мусить бути значно довше – близько 750 футів – і містити на різних ділянках траєкторії руху “снаряду” різні гази. Аби розігнати корисний вантаж до другої космічної швидкості, дуло має містити до п'яти різних ділянок з різними газами.

Вартість запуску космічного апарата за допомогою газової гармати може виявитись навіть меншою, ніж за допомогою лазерної системи. Однак запускати таким способом у космос людей надто небезпечно; так запускатимуть лише твердий вантаж, що може витримати таке шалене прискорення.

Третя експериментальна конструкція – “слінгатрон”, який, як та праща, спершу розкручує корисний вантаж, а тоді жбурляє його в повітря.

Прототип такого пристрою сконструював Дерек Тідман – його настільна модель може за кілька секунд розкрутити об'єкт і пожбурити зі швидкістю 300 футів на секунду. Слінгатрон Тідмана складається з трубки у формі бублика з діаметром три фути. Сама трубка має діаметр один дюйм, і в ній міститься маленька сталева кулька. Кулька котиться по колу, а маленькі моторчики її підштовхують, і вона дедалі більше прискорюється.

Справжній слінгатрон, який би міг пожбурити корисний вантаж у відкритий космос, мусить бути значно більший – сотні тисяч фу-

тів у діаметрі; він мусить розганяти кулю доти, доки та не досягне швидкості 7 миль на секунду. Куля вилітатиме зі слінгатрона з прискоренням 1000 g – цього теж достатньо, щоб сплющити більшість об'єктів. Залишається ще розв'язати чимало технічних проблем, найважливіша з яких – тертя між кулею і трубою, яке мусить бути мінімальним.

Повна розробка кожної з цих трьох моделей займе не один десяток років, і то лише за умови, що фінансування для цього надасть уряд або приватний сектор. В іншому ж разі ці ідеї так і залишаться на папері.

## ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)

### КОСМІЧНИЙ ЛІФТ

До кінця цього сторіччя завдяки нанотехнологіям може з'явитись навіть легендарний космічний ліфт. Як той Джек на бобовому дереві, ми зможемо підніматись до хмар і вище. Ми заходитимемо в ліфт, натискатимемо на кнопку і мчатимемо вгору волокном із вуглецевих нанотрубок завдовжки тисячі миль. Це могло б перевернути економіку космічних подорожей з ніг на голову.

У 1895 році російський фізик Костянтин Ціолковський, натхненний побудовою Ейфелевої вежі – на той час найвищої споруди в світі, – поставив собі просте запитання: Чому не можна збудувати Ейфелеву вежу до самого космосу? Якби ця вежа була достатньо висока, обчислив він, то, згідно з законами фізики, вона б ніколи не впала. Він назвав таку споруду “небесним замком”.

Уявіть собі кульку на мотузці. Якщо цю кульку розкрутити, то вона не падатиме завдяки відцентровій силі. Аналогічно, якщо трос буде достатньо довгий, то відцентрова сила втримуватиме вантаж, закріплений на його кінці, від падіння на Землю. Обертання Землі буде достатньо, щоб утримувати цей трос у небі. Щойно трос космічного ліфта простягнеться в небо, будь-яка кабінка, що пересуватиметься цим тросом, зможе виїхати по ньому в небо.

На папері такий фокус виглядає можливим. Однак, якщо застосувати ньютоніві закони руху і обчислити натяг цього тросу, то ви-



явиться, що він, на жаль, перевищує межу міцності сталі: такий трос неминуче трісне, а відтак космічний ліфт неможливий.

Упродовж десятиріч науковці неодноразово поверталися до ідеї космічного ліфта і щоразу відкидали її з щойно зазначеної причини. У 1957 році російський науковець Юрій Арцутанов запропонував будувати космічний ліфт не знизу-догори, а згори-донизу: спершу передбачалося запустити на орбіту космічний корабель, а той мав спустити звідти трос, який належало закріпити на Землі. Ідею космічного ліфта популяризували також письменники-фантасти – зокрема Артур Кларк у романі *Фонтани раю*, опублікованому 1979 року, і Роберт Гайнлайн у романі *Фрайді*, опублікованому 1982 року.

Вуглецеві нанотрубки знову відродили цю ідею. Як ми вже побачили, ці нанотрубки мають найбільшу межу міцності серед усіх матеріалів. Вони міцніші за сталь і достатньо міцні, аби витримати натяг, який виникає в космічному ліфті.

Проблема, однак, у тому, щоб створити трос із чистих вуглецевих нанотрубок завдовжки 50 000 миль. Це надзвичайно складне завдання, адже досі науковцям удалося створити лише кілька сантиметрів чистих вуглецевих нанотрубок. Можна сплести до купи мільярди вуглецевих нановолокон і створити з них пластини й троси, але ці волокна не будуть цільними. Завдання полягає в тому, щоб створити вуглецеву нанотрубку, в якій кожний атом вуглецю буде чітко в належному місці.

У 2009 році науковці з Університету Райса оголосили про важливе відкриття. Волокна, які їм удалося створити, не чисті, а композитні (тобто не придатні для космічного ліфта), проте їхній метод достатньо універсальний і дає змогу створювати нанотрубки будь-якої довжини. Науковці виявили – методом проб і помилок, – що вуглецеві нанотрубки можна розчинити в хлорсульфоновій кислоті, а тоді виприскувати з сопла, як із душової насадки. Таким способом можна виготовляти волокна з вуглецевих нанотрубок завтовшки 50 мікрометрів і завдовжки сотні метрів.

Одним із комерційних застосувань таких волокон могли б бути лінії електропередачі, оскільки вуглецеві нанотрубки проводять електрику краще, ніж мідь, до того ж вони легші і надійніші. Професор біомолекулярної інженерії з Університету Райса Матео Паскуалі каже: “Для ліній електропередачі потрібні тони такого волокна, а методу його виготовити наразі немає. Залишилося винайти ще тільки одне чудо”.<sup>5</sup>

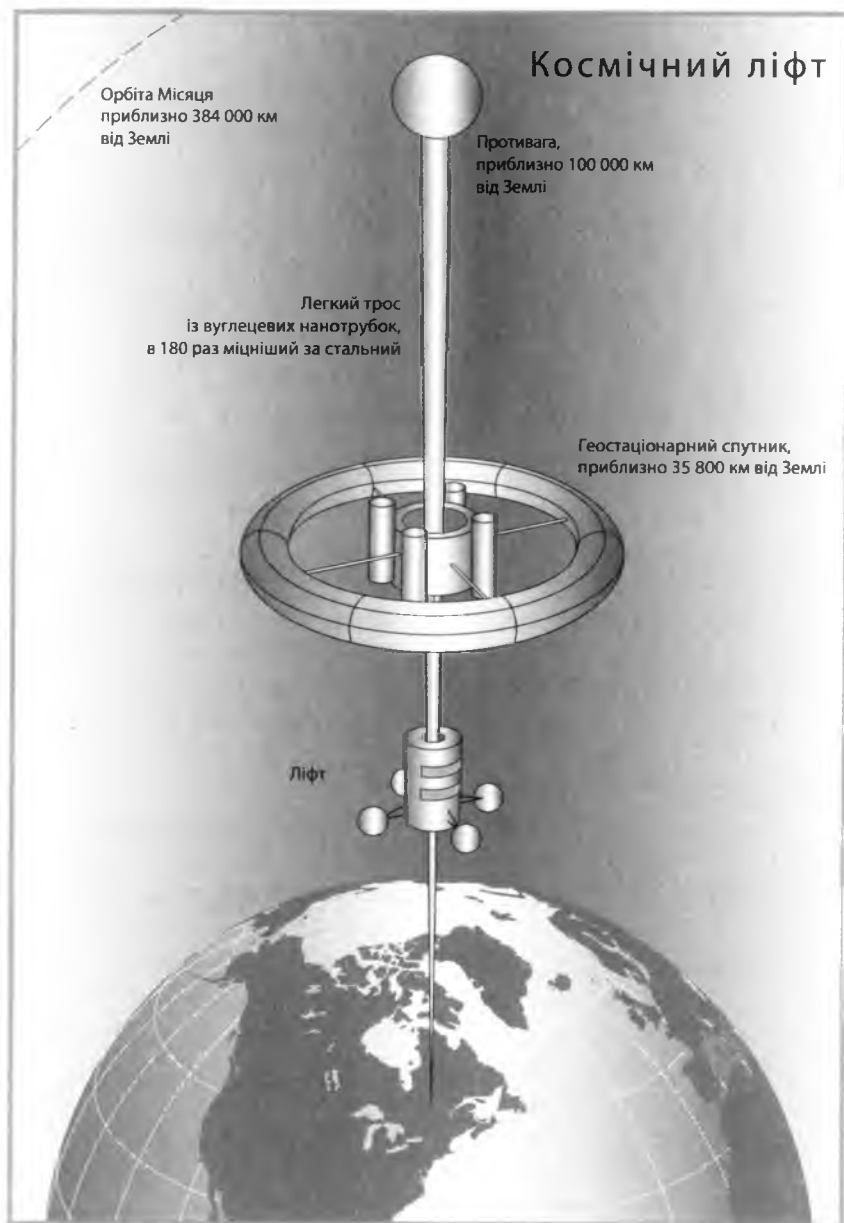


Фото: Космічний ліфт до неба може колись істотно знизити вартість космічних подорожей. Ключем до космічного ліфта можуть бути нанотехнології. *Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)*

Хоч створені волокна недостатньо чисті й не придатні для космічного ліфта, це дослідження дає підстави сподіватися, що одного дня ми навчимося вирощувати чисті вуглецеві нанотрубки, достатньо міцні, щоб підняти нас у небо.

Навіть якщо припустити, що в майбутньому ми зможемо створювати довгі вуглецеві нанотрубки, залишаються ще інші практичні проблеми. Наприклад, трос космічного ліфта простягатиметься значно далі від орбіт більшості супутників, а це означає, що рано чи пізно орбіта якогось супутника натрапить на космічний ліфт і станеться аварія. Оскільки супутники літають у середньому зі швидкістю 18 000 миль на годину, таке зіткнення було б катастрофічним. Відтак космічний ліфт треба обладнати спеціальними ракетами, які б відсували трос ліфта зі шляху супутників.

Інша проблема – погодні стихії, тобто урагани, грози і сильний вітер. Космічний ліфт треба закріпити на Землі – можливо, на якомусь авіаносці чи на нафтовій платформі десь у Тихому океані, – але він мусить бути гнучкий, щоб не постраждати від природних стихій.

Крім того, в космічному ліфті мусить бути аварійна кнопка і рятувальна капсула на випадок обриву троса. Якщо трос обірветься, кабіна мусить мати змогу спланувати на Землю або спуститися з парашутом, щоб урятувати пасажирів.

Аби стимулювати дослідження в галузі космічних ліфтів, НАСА оголосило кілька конкурсів. Сукупний призовий фонд конкурсів *Space Elevator Games* за підтримки НАСА становить 2 мільйони доларів. Згідно з правилами, які визначило НАСА, аби виграти конкурс *Beam Power Challenge*, треба створити пристрій вагою щонайбільше 50 кілограмів, спроможний піднятися тросом на висоту 1 кілометр зі швидкістю 2 метри на секунду. Найбільша складність полягає в тому, що цей пристрій не може мати ні палива, ні акумуляторів, ні електричного кабелю. Енергію для нього треба передавати ззовні.

Я мав нагоду побачити на власні очі завзяття й енергію інженерів, що працюють над космічним ліфтом і мріють одержати приз. Яюсь я літав до Сіетла, щоб зустрітися з групою молодих підприємливих інженерів із назвою *LaserMotive*. Вони почули клич НАСА і заходилися створювати прототипи, що можуть колись зробити космічний ліфт реальністю.

Я зайшов у великий склад, який вони винайняли, щоб випробувати свої ідеї. З одного боку я побачив великий лазер, здатний вистрілювати потужний промінь енергії. З протилежного боку складу

я побачив їхній космічний ліфт. Це був ящик приблизно три фути завширшки з великим дзеркалом. Лазерний промінь мав потрапляти на дзеркало й відбиватись на ряд сонячних елементів, які перетворювали лазерну енергію на електрику. Це урухомлювало двигун, і кабінка ліфта поволі піднімалась коротким тросом. У такій конструкції з космічного ліфта не мусять звисати електричні кабелі. На нього просто скеровують лазерний промінь із Землі, і кабінка сама піднімається вгору.

Лазер був настільки потужний, що ми всі мушили одягнути спеціальні окуляри, щоб захистити очі. Після багатьох спроб молодим інженерам нарешті таки вдалося змусити свій “ліфт” повзти вгору. Один аспект проблеми космічного ліфта було розв’язано – принаймні теоретично.

Спочатку завдання було настільки складне, що призу не виграв ніхто.<sup>6</sup> Однак 2009 року група *LaserMotive* таки домоглася призу. Конкурс відбувся на авіабазі *Едвардс* у пустелі Мохаве в Каліфорнії. Над пустелею літав вертоліт, з якого звисав довгий трос. Команді *LaserMotive* вдалося змусити свій “ліфт” піднятися цим тросом чотири рази за два дні, рекордний час становив 3 хвилини і 48 секунд. Отже, наполеглива праця цих молодих інженерів, яку мені довелося спостерігати раніше, зрештою окупилась.

## ЗОРЯНІ КОРАБЛІ

До кінця цього сторіччя, – навіть попри недавнє скорочення фінансування на пілотовані космічні польоти, – науковці, ймовірно, створять базу на Марсі й, можливо, ще десь на поясі астероїдів. Наступною метою стане якась конкретна зірка. Хоч сьогодні міжзоряний зонд для нас абсолютно нереальний, через 100 років усе може змінитися.

Перше завдання – винайти нову систему тяги. Звичайна хімічна ракета летіла б до найближчої зірки приблизно 70 000 років. Так, два космічні зонди *Voyager*, що їх запустили 1977 року, встановили рекорд щодо дальності космічних польотів: на сьогодні вони віддалились від нас у відкритий космос приблизно на 10 мільярдів миль, проте це лише малесенька часточка шляху до зірок.

Науковці розглядають декілька конструкцій і систем тяги для міжзоряних апаратів:

- сонячне вітрило
- ядерна ракета
- прямоточний повітряно-реактивний термоядерний двигун
- нанокораблі.

Я мав нагоду познайомитися з одним із прибічників ідеї сонячного вітрила, коли побував на станції НАСА Плам Брук у Клівленді, штат Огайо. Там інженери збудували найбільшу в світі вакуумну камеру для випробування космічних супутників. Ця камера справді велетенська – 100 футів завширшки і 122 фути заввишки. В ній умістилося б декілька багатопверхівок і є достатньо місця, щоб тестувати супутники й частини ракет в умовах космічного вакууму. Заходячи до цієї камери, я був приголомшений масштабами проекту. Але водночас я відчував гордість від того, що заходжу в ту саму камеру, де випробовували багато епохальних американських супутників, космічних зондів і ракет.

Там я познайомився з одним із найпалкіших прихильників ідеї сонячного вітрила, науковцем НАСА Лесом Джонсоном. Джонсон розповів мені, що ще відтоді, як у дитинстві він читав наукову фантастику, він мріяв будувати ракети, які б долетіли до зірок. Джонсон навіть написав ґрунтовний підручник про сонячні вітрила. Він вважає, що створити сонячне вітрило можна було б уже за кілька десятиріч, однак розуміє, що справжній зоряний корабель, мабуть, з'явиться лише через багато років після його смерті. Як ті будівничі величних середньовічних соборів, Джонсон усвідомлює, що створення космічного корабля, який би долетів до зірок, може розтягнутись на кілька людських життів.

Принцип дії сонячного вітрила ґрунтується на тому, що світло, не маючи маси, має імпульс, а відтак може створювати тиск. Хоч тиск сонячного світла надзвичайно слабкий – занадто слабкий, щоб ми могли відчувати його на собі, – його буде достатньо, щоб штовхати зоряний корабель, якщо вітрило буде достатньо велике і якщо ми чекатимемо достатньо довго. (У космосі сонячне світло у вісім разів інтенсивніше, ніж на Землі.)

Джонсон сказав мені, що його мета – створити велетенське сонячне вітрило з дуже тонкого, однак пружного й еластичного пластику. Це вітрило буде кілька миль завширшки, й будуватимуть його у відкритому космосі. Щойно його сконструюють, воно почне повільно обертатись довкола Сонця, поступово нарощуючи швидкість. Покружлявши довкола Сонця кілька років, вітрило вийде по спіралі за межі Сонячної системи й рушить до зірок. Таке сонячне вітрило, ска-

зав мені Джонсон, може розігнати космічний зонд до 0,1 швидкості світла і домчати його до найближчої зірки десь за чотириста років.

Аби скоротити час на шлях до зірок, Джонсон шукає якесь додаткове джерело прискорення для цього сонячного вітрила. Один варіант – розташувати на Місяці батарею потужних лазерів. Лазерні промені потраплятимуть на вітрило й передаватимуть йому додаткову енергію, а відтак збільшуватимуть його швидкість.

Одна з проблем зоряного корабля з сонячним вітрилом полягає в тому, що його складно зупинити і скерувати в протилежний бік, оскільки світло рухається тільки в одному напрямі – від Сонця. Один варіант – розвернути вітрило й використати тиск світла від зірки-цілі, щоб сповільнити корабель. Інший варіант – облетіти довкола цієї далекої зірки, використавши її гравітацію, щоб створити так званий ефект гравітаційної “пращі”<sup>\*</sup> для зворотної подорожі. А ще один варіант – здійснити посадку на якомусь місяці тієї зоряної системи, збудувати там батарею лазерів, а тоді летіти назад, використовуючи для прискорення світло зірки й лазерні промені.

Джонсон має зоряні мрії, однак усвідомлює, що дійсність значно скромніша. У 1993 році росіяни розгорнули в космосі зі станції *Mir* шістдесятифутовий рефлектор з майларової плівки, проте метою цього експерименту було лише продемонструвати розгортання. Наступна спроба виявилась невдалою. У 2004 році японці успішно запустили два прототипи сонячного вітрила, але, знову-таки, метою було випробувати систему розгортання, а не тягу. У 2005 році Планетарне товариство, громадська організація *Cosmos Studios* і Російська академія наук спільно здійснили амбітну спробу розгорнути справжнє сонячне вітрило з назвою *Cosmos 1*. Вітрило запустили з російського підводного човна. Однак запуск ракети *Волна* виявився невдалим, і до орбіти це вітрило так і не дісталось. А коли 2008 року група науковців із НАСА спробувала запустити сонячне вітрило з назвою *NanoSail-D*, то запуск ракети *Falcon 1* теж виявився невдалим.

Але нарешті в травні 2010 року Агентство аерокосмічних досліджень Японії успішно запустило *IKAROS* – перший космічний апарат, що має використовувати технологію сонячного вітрила в міжпланетному просторі.<sup>7</sup> Він має квадратне вітрило з діагоналлю 20 метрів, що слугує йому двигуном, і прямує до Венери. Японці сподіваються за якийсь час запустити ще один космічний апарат із сонячним вітрилом до Юпітера.

<sup>\*</sup> Тіло, що налітає на зірку, внаслідок гравітаційної взаємодії з нею при її обході набуває в зворотному напрямку додаткової швидкості, яка дорівнює швидкості зірки. – *Прим. наук. ред.*

## ЯДЕРНА РАКЕТА

Як можливе джерело енергії для зоряного корабля науковці розглядають також і ядерну енергію. Комісія з атомної енергії США вперше серйозно зацікавилась ракетами з атомними реакторами ще 1953 року, починаючи з проекту *Rover*. У 1950-х і 1960-х роках експерименти з атомними ракетами загалом закінчились невдало. Ці ракети переважно були нестабільні й надто складні в керуванні. До того ж звичайний ядерний реактор просто не продукує достатньо енергії для зоряного корабля, і це легко довести. Типова атомна електростанція виробляє близько мільярда ват енергії – цього недостатньо, щоб долетіти до зірок.

Але в 1950-х роках науковці запропонували використовувати як двигун для зоряного корабля атомні й водневі бомби, а не реактори. Приміром, у проекті *Оріон* пропонувалось прискорювати ракету вибуховими хвилями від атомних бомб. Зоряний корабель мав скидати позад себе одну за іншою атомні бомби, створюючи потужні спалахи рентгенівського проміння. Ударні хвилі від вибухів бомб штовхали б корабель уперед.

У 1959 році фізики з компанії *General Atomics* обчислили, що вдосконалена версія *Оріона* важила б 8 мільйонів тон, мала б діаметр 400 метрів, а джерелом тяги їй слугували б 1000 водневих бомб.

Одним палким прибічником проекту *Оріон* був фізик Фріман Дайсон. “Для мене *Оріон* означав відкриття цілої Сонячної системи для життя. Він міг змінити хід історії, – каже Дайсон. Крім того, це був би зручний спосіб позбутись атомних бомб. – За один політ ми б позбулися 2000 бомб”.<sup>8</sup>

Однак проект *Оріон* закрили – через Договір про заборону випробувань ядерної зброї в атмосфері, космічному просторі й під водою від 1963 року. Без випробувань фізики не могли вдосконалювати конструкцію *Оріона*, і ця ідея вмерла.

## ПРЯМОТОЧНИЙ ТЕРМОЯДЕРНИЙ ДВИГУН

Ще одну модель ядерної ракети запропонував 1960 року Роберт Бассард; він передбачив термоядерний двигун, схожий на звичайний авіаційний реактивний двигун. Прямоточний повітряно-реактивний двигун усмоктує повітря попереду себе і змішує його всередині з паливом. Суміш палива з повітрям підпалюється, й стається хімічний

вибух, що створює тягу. Бассард запропонував застосувати той самий принцип до термоядерного двигуна. Прямоточний термоядерний двигун усмоктує не повітря, а водень, який у міжзоряному просторі є всюди. Цей водень стискається і нагрівається за допомогою електричних і магнітних полів, аж перетворюється на гелій, вивільняючи водночас величезний обсяг енергії. Стається вибух, який штовхає ракету вперед. Оскільки запаси водню у відкритому космосі невичерпні, то прямоточний термоядерний двигун, теоретично, може функціонувати вічно.

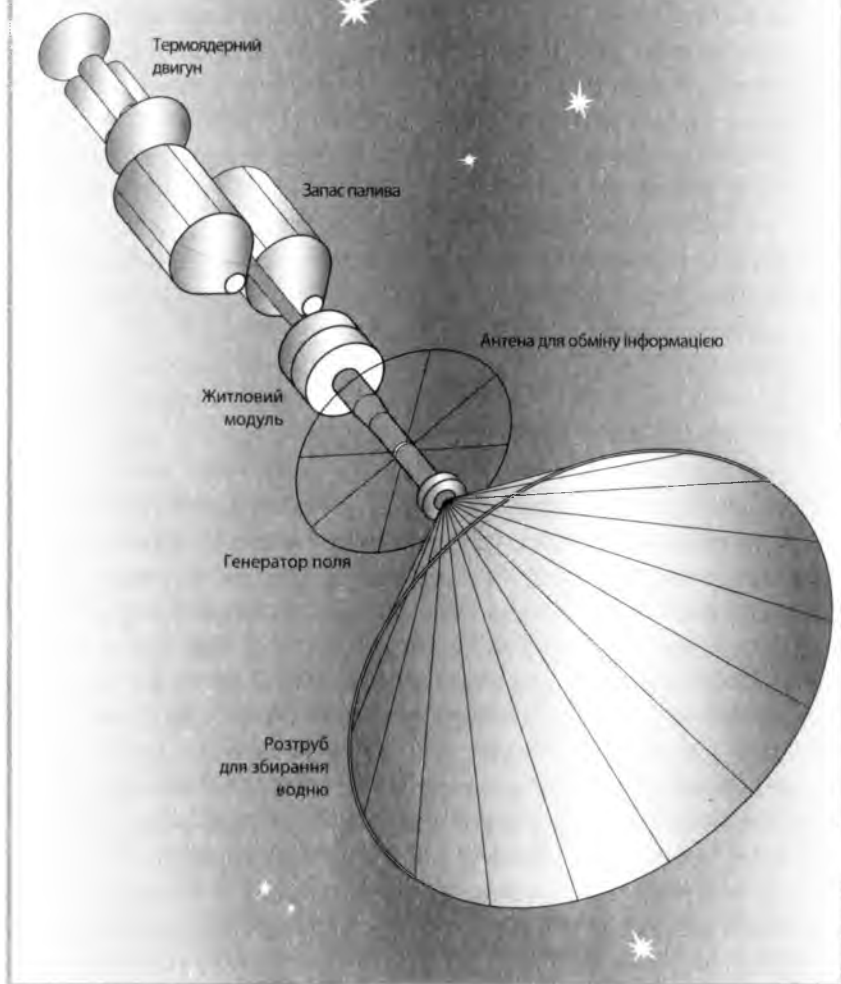
Формою ракета з прямоточним термоядерним двигуном нагадує ріжок для морозива. Розтруб всмоктує водень, який потрапляє у двигун, де нагрівається і з'єднується з іншими атомами водню. Бассард обчислив: якщо прямоточний термоядерний двигун вагою 1000 тон постійно зберігатиме прискорення 32 фути на секунду в квадраті (тобто прискорення вільного падіння на Землі), то лише за один рік він розженеться до 77 відсотків швидкості світла. Оскільки прямоточний термоядерний двигун може працювати безкінечно, то, теоретично, зоряний корабель із таким двигуном міг би вийти за межі нашої галактики й досягнути галактики Андромеди, розташованої на віддалі 2 мільйони світлових років від Землі, лише за 23 роки за годинниками на борту цього корабля. (Згідно зі спеціальною теорією відносності Айнштейна, час на борту зоряного корабля сповільнюється; отже на Землі можуть проминути мільйони років, а тим часом астронавти постарішають лише на 23 роки.)

Ідея прямоточного термоядерного двигуна має кілька слабких місць. По-перше, оскільки в міжзоряному просторі трапляються здебільшого протони, то термоядерний двигун муситиме спалювати чистий водень, а від цього утворюється не надто багато енергії. (Термоядерний синтез водню можна здійснювати різними способами. В експериментальних термоядерних установках на Землі сьогодні надають перевагу циклові дейтерій-тритій, що вивільняє великий обсяг енергії. Однак у відкритому космосі водень існує у вигляді окремих протонів, відтак термоядерний двигун може з'єднувати тільки протони з протонами, що дає менше енергії, ніж синтез дейтерію з тритієм.) Проте Бассард продемонстрував, що якщо додати до паливної суміші трохи вуглецю, то вуглець діятиме як каталізатор, і утворюватиметься величезна кількість енергії, достатня для зоряного корабля.

По-друге, розтруб спереду корабля мусить бути величезний – діаметром близько 160 кілометрів, – щоб зібрати достатньо водню, відтак його доведеться будувати просто в космосі.



## Термоядерна ракета



Прямоточний термоядерний двигун збирає водень із міжзоряного простору, і тому теоретично він може працювати вічно. *Рис. Джеффри Ворда (Jeffrey L. Ward)*

Є іще одна нерозв'язана проблема. У 1985 році інженери Роберт Зубрін і Дейна Ендрюс показали, що опір середовища не дасть зоряному кораблю з прямоточним термоядерним двигуном розігнатися до близькосвітлової швидкості. Цей опір зумовлений наявністю в космічному просторі атомів водню. Однак розрахунки цих інженерів ґрунтуються на деяких припущеннях, що можуть не справдитись у випадку прямоточних термоядерних двигунів майбутнього.

Наразі, доки ми не опануємо краще термоядерний цикл протон-протон (і не зрозуміємо природу опору іонів у космосі), питання прямоточного термоядерного двигуна залишатиметься відкритим. Але якщо ці інженерні проблеми колись удасться розв'язати, то прямоточний термоядерний двигун напевно розглядатимуть як один із найкращих варіантів.

## РАКЕТИ НА АНТИМАТЕРІЇ

Інша виразна можливість – використати для зоряного корабля найпотужніше джерело енергії у Всесвіті – антиматерію. Антиматерія – це протилежність матерії, з протилежним зарядом; приміром, електрон має негативний заряд, а електрон з антиматерії (позитрон) має позитивний заряд. При контакті звичайна матерія й антиматерія анігілюють. Фактично, в чайній ложечці антиматерії міститься достатньо енергії, щоб знищити цілий Нью-Йорк разом із передмістями.

Антиматерія настільки потужна, що зловмисники в романі Дена Брауна *Янголи і демони* створюють із неї бомбу, щоб висадити в повітря цілий Ватикан; антиматерію вони викрадають із Європейського центру ядерних досліджень (ЦЕРН), розташованого в Швейцарії, неподалік від Женеви. На відміну від водневої бомби, ефективність якої становить лише 1 відсоток, бомба з антиматерії була б ефективною на всі 100 відсотків: матерія й антиматерія повністю трансформувались би в енергію за рівнянням Айнштайна  $E=mc^2$ .

У принципі, антиматерія – ідеальне паливо для зоряного корабля. Джеральд Сміт з Університету штату Пенсильванія обчислив, що 4 міліграмів антиматерії вистачило б, щоб долетіти до Марса, а якихось сто грамів домчали б космічний корабель до найближчих зірок. Антиматерія при анігіляції дає в мільярд разів більше енергії, ніж такий самий обсяг звичайного ракетного палива. Двигун з антиматерії

виглядав би доволі просто. У ракетну камеру подається постійний потік частинок антиматерії; там він з'єднується зі звичайною матерією, і відбувається потужний вибух. Газу від вибуху вистрілюють з одного кінця камери, створюючи тягу.

До втілення цієї мрії нам ще дуже далеко. Наразі фізикам удалося створити антиелектрони й антипротони, а також атоми антиводню, в яких антиелектрон кружляє довкола антипротона. Це зробили в ЦЕРНі, а також у Національній лабораторії прискорення елементарних частинок імені Енріко Фермі (Фермілаб), що недалеко від Чикаго, на теватроні – другому за величиною прискорювачі частинок у світі (більший за нього тільки великий адронний колайдер у ЦЕРНі). В обох лабораторіях фізики пустили пучок високоенергетичних частинок у мішень, в результаті чого стався викид частинок, серед яких були антипротони. За допомогою потужних магнітів антиматерію відділили від звичайної матерії. Потім антипротони сповільнили і дали їм з'єднатися з антиелектронами, і так утворились атоми антиводню.

Дейв МакГінніс, фізик у Фермілабі, вже довго й наполегливо думає над практичним застосуванням антиматерії. Ми з ним стояли біля теватрона, і він пояснював мені складну економіку антиматерії. Єдиний відомий спосіб постійно виробляти антиматерію, наголошував він, – це за допомогою прискорювачів частинок на кшталт теватрона; однак такі пристрої страшенно дорогі і створюють лише мізерну кількість антиматерії. Наприклад, 2004 року великий адронний колайдер у ЦЕРНі створив кілька трильйонних грама антиматерії, що коштувало 20 мільйонів доларів. За такої вартості виготовлення достатньої кількості антиматерії для зоряного корабля означало б банкрутство цілої світової економіки. Двигуни на антиматерії, казав МакГінніс, – це якась шалена ідея. Вони, безумовно, не суперечать законам фізики. Однак вартість створення такого двигуна в найближчому майбутньому залишатиметься для нас непідійнятною.

Одна з причин, чому антиматерія потребує таких неймовірних коштів, – це те, що прискорювачі частинок, за допомогою яких її добувають, страшенно дорогі. Однак ці прискорювачі частинок – універсальні пристрої, призначені передусім для добування різних екзотичних субатомних частинок, а не частинок антиматерії. Це інструменти для проведення досліджень, а не промислові апарати. Імовірно, вартість антиматерії можна було б істотно знизити, якщо розробити новий тип прискорювача частинок, спеціально призначений створювати більші обсяги антиматерії. Тоді можна було б на-

лагодити масове виробництво таких пристроїв і добувати істотну кількість антиматерії. Гарольд Герріш із НАСА вважає, що вартість антиматерії може з часом знизитись до 5000 доларів за мікрограм.

Інший варіант – знайти у відкритому космосі метеорит з антиматерії. Якби такий об'єкт знайшовся, то енергії з нього з лихвою вистачило б для зоряного корабля. До речі, європейський космічний апарат *PAMELA (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics – Вантаж для дослідження антиматерії і астрофізики легких ядер)* запустили 2006 року спеціально, щоб він шукав у відкритому космосі природну антиматерію.

Якщо в космосі виявляться великі обсяги антиматерії, то щоб її зібрати, будуть потрібні якісь великі електромагнітні сітки.

Отже, хоч міжзор'яні ракети на антиматерії однозначно не суперечать законам фізики, цілком імовірно, що до кінця цього сторіччя вартість антиматерії знизити не вдасться. Проте якщо це станеться, двигуни на антиматерії розглядатимуть як один із найкращих варіантів для зоряного корабля.

## НАНОКОРАБЛІ

Під впливом спецефектів у фільмах *Зоряні війни* чи *Зоряний шлях* ми уявляємо зоряний корабель як якийсь величезний футуристичний апарат, оснащений найновішими високотехнологічними гаджетами. Однак є й інший варіант: створити за допомогою нанотехнологій крихітні зоряні кораблі – завбільшки з наперсток, голку або й ще менші. Ми наперед переконані, що зоряний корабель мусить бути велетенський, як *Ентерпрайз*, здатний умістити цілий екіпаж астронавтів. Однак основні функції зоряного корабля можна мініатюризувати за допомогою нанотехнологій; і тоді можна було б запустити до зірок мільйони малесеньких нанокораблів, з яких до місця призначення долетіла б лише невеличка частка. Діставшись до якогось із найближчих супутників, ці нанокораблі могли б побудувати там завод і виготовити безмежну кількість власних копій.

Вінтон Серф, один із “батьків інтернету”, передбачає крихітні нанокораблі, що зможуть досліджувати не лише Сонячну систему, а й – із часом – самі зірки. Він каже: “Дослідження Сонячної системи стане набагато ефективнішим, якщо ми створимо малесенькі, однак потужні нанопристрої, які б легко було доправити на поверхню, під

поверхню і в атмосферу сусідніх планет і супутників... Ці можливості можна навіть екстраполювати на міжзор'яні дослідження".<sup>9</sup>

У природі ссавці народжують лише по декілька дітей і піклуються, щоб усі вони вижили. Комахи ж плодять величезне потомство, з якого виживає лише невеличка частка. Обидві стратегії дають змогу біологічним видам існувати впродовж мільйонів років. Аналогічно, замість того, щоб запускати в космос один дорогий зоряний корабель, ми можемо запустити мільйони крихітних зоряних корабликів, кожний з яких коштуватиме копійки і потребуватиме дуже мало палива.

Ця концепція змодельована за однією дуже успішною стратегією, що спостерігається в природі: стратегією рою. Птахи, бджоли та інші крилаті тварини літають роями або зграями. Гуртом літати безпечніше, а крім того, зграя ще й виконує функцію системи раннього попередження. Якщо в одній частині зграї трапляється щось небезпечно – приміром, нападає хижак, – ця інформація швидко передається решті зграї. Зграя також доволі ефективна в сенсі енергії. Птахи, коли вони летять характерним “клином”, використовують турбулентні потоки від крила птаха попереду, а отже, витрачають менше енергії на політ.

Науковці розглядають рій як “суперорганізм”, який начебто має власний інтелект, незалежний від здібностей окремих особин. Приміром, мурахи мають дуже просту нервову систему і крихітний мозок, однак гуртом вони можуть побудувати складну споруду – мурашник. Науковці сподіваються використати деякі з цих уроків природи для розробки “рійних” роботів, які можуть колись вирушити до інших планет і зірок.

Це схоже на гіпотетичну концепцію “розумного пилу”, що її саме розробляє Пентагон: у повітрі розпоршують мільярди частинок, кожна оснащена крихітними сенсорами, які мають збирати інформацію. Кожний окремий сенсор не надто “розумний”, але разом вони можуть назбирати гори інформації. Агентство перспективних оборонних дослідницьких проєктів (*DARPA*) Пентагона фінансує це дослідження з думкою про можливе застосування “розумного пилу” у військовій сфері – наприклад, стеження за позиціями противника на полі бою. У 2007 і 2009 роках військово-повітряні сили США оприлюднили пропозиції стосовно планів на найближчі десятиріччя, що містили все – від удосконалених версій безпілотного літака *Predator* (який сьогодні коштує 4,5 мільйона доларів) до роїв крихітних дешевих сенсорів, менших за міль.<sup>10</sup>

Науковців теж цікавить ця концепція. Вони могли б за допомогою “розумного пилу” спостерігати одночасно за тисячами різних місць під час ураганів, гроз, вивержень вулканів, землетрусів, паводків, лісових пожеж та інших природних явищ. Приміром, у фільмі *Смерч* ми бачимо групу відважних мисливців за ураганами, які, ризикуючи життям, установлюють сенсори довкола торнадо. Це не надто ефективно. Замість того, щоб жменька науковців установлювала кілька сенсорів під час виверження вулкану чи торнадо, аби виміряти температуру, вологість і швидкість вітру, краще використати для цього “розумний пил”, який може зібрати дані одночасно з тисячі різних місць у радіусі сотень миль. Якщо ввести ці дані в комп’ютер, то вони миттєво дадуть вам інформацію про те, як розвивався ураган чи відбувалось виверження вулкану в трьох вимірах і в реальному часі. Уже створено комерційні підприємства, щоб рекламувати ці крихітні сенсори (деякі з них не більші за голівку шпильки).

Інша перевага нанокораблів – це те, що вони споживають дуже мало палива. Величезні ракети-носії можуть досягнути швидкості тільки 25 000 миль на годину; тим часом крихітні об’єкти відносно легко запустити в космос із величезною швидкістю. Дійсно, субатомні частинки легко розігнати майже до швидкості світла за допомогою звичайного електричного поля. Наночастинки, про які йшла мова, мають невеличкий електричний заряд, і їх теж легко розігнати за допомогою електричного поля.

Замість того, щоб витратити величезні ресурси на запуск космічного зонда, можна зробити так, щоб кожний зонд умів самовідтворюватись і створити цілий завод, який виготовлятиме зонди, чи навіть місячну базу. Потім ці нанозонди можуть полетіти досліджувати інші світи. (Проблема полягає в тому, щоб створити перший нанозонд, що самовідтворюватиметься, а це наразі ще дуже далека перспектива.)

У 1980 році НАСА ставилось до ідеї зондів, здатних самовідтворюватись, достатньо серйозно, щоб замовити Університетові Санта-Клари спеціальне дослідження з назвою *Advanced Automation for Space Missions* (Удосконалена автоматика для космічних місій), у межах якого розглянули кілька варіантів. Один варіант, який науковці НАСА докладно вивчили, передбачав запустити невеличких роботів, здатних самовідтворюватись, на Місяць. Там ці роботи мали створити з місячного ґрунту безліч копій самих себе.

Звіт стосовно цього проекту був присвячений здебільшого створенню хімічного заводу з переробки місячного ґрунту (що має назву реголіт). Приміром, робот міг би сісти на Місяць, розкластися на окремі компоненти, а тоді скласти з цих компонентів нову конструкцію – приблизно як іграшковий робот-трансформер. Робот міг би створити, наприклад, великі параболічні дзеркала, щоб сфокусувати сонячне світло й почати плавити реголіт. Тоді за допомогою фтористоводневої кислоти він почав би переробляти реголіт і добувати з нього корисні мінерали й метали. З металів можна було б сконструювати місячну базу. Врешті-решт робот побудував би невеличкий завод, щоб створювати копії самого себе.

Ґрунтуючись на цьому звіті, 2002 року Інститут перспективних концепцій НАСА почав фінансувати низку проектів, що передбачали використання роботів, здатних самовідтворюватись. Мейсон Пек з Корнелльського університету належить до тих науковців, які серйозно поставились до ідеї зоряного корабля на чіпі.

Я мав нагоду побувати в лабораторії Пека і побачити його верстак, завалений різними компонентами, які можуть колись полетіти в космос. Поряд із верстаком була невеличка чиста кімнатка з пластиковими стінами, де збирають делікатні компоненти супутників.

Уявлення Пека про дослідження космосу дуже відрізняється від того, що ми бачимо в голлівудських фільмах. Він уявляє мікрочіп завбільшки з квадратний сантиметр і вагою один грам, який можна буде розігнати до 1-10 відсотків швидкості світла. Для цього можна використати ефект гравітаційної “пращі”, за допомогою якого НАСА розганяє свої космічні апарати до величезної швидкості. У цьому гравітаційному маневрі космічний апарат запускають довкола якоїсь планети, щоб, використовуючи її гравітацію, збільшити швидкість цього апарата.

Але Пек хоче використати замість гравітації магнітні сили. Його ідея – запустити зоряний корабель-мікрочіп у магнітне поле Юпітера, що в 20 000 разів потужніше за магнітне поле Землі. Він планує розігнати свій нанокорабель за допомогою такої самої магнітної сили, якою в наших прискорювачах частинок субатомні частинки розганяють до трильйонів електрон-вольт.

Пек показав мені чіп-зразок, який колись, за його задумом, могли б запустити довкола Юпітера. Це був малесенький квадратик, менший за ніготь, ущерть заповнений всякою науковою всячиною. Зоряний корабель Пека буде простий. З одного боку чіпа – сонячний елемент,

який має забезпечувати його енергією для зв'язку. З іншого – радіо-передавач, відеокамера й різні сенсори. Цей пристрій не має двигуна, оскільки йому надає прискорення тільки магнітне поле Юпітера. (Прикро, але Інститут перспективних концепцій НАСА, що з 1998 року фінансував цей та інші інноваційні проекти для космічної програми, закрили 2007 року в зв'язку зі скороченням бюджетних витрат.)

Отже, уявлення Пека про зоряний корабель дуже відрізняється від того, як його зазвичай зображують у науковій фантастиці, де велетенські зоряні кораблі зі страшним гуркотом злітають у космос під керівництвом команди відважних астронавтів. Приміром, якби на одному з місяців Юпітера з'явилась наукова база, то на орбіту цієї планети-гіганта можна було б запустити багато таких малесеньких чіпів. Якщо на цьому місяці збудувати ще й батарею лазерних гармат, то ці чіпи можна було б розігнати за допомогою лазерних променів, збільшуючи їхню швидкість, аж доки вона не сягне якоїсь істотної частки швидкості світла.

Тоді я поставив Пеку просте запитання: Чи не можна за допомогою нанотехнологій зменшити його чіпи до розміру молекул? У такому разі не потрібне навіть магнітне поле Юпітера – зонди, завбільшки з молекулу, можна розігнати майже до швидкості світла у прискорювачі частинок, побудованому на нашому Місяці. Пек погодився, що така можливість не виключена, однак деталей він іще не опрацьовував.

Тож ми взяли аркуш паперу і разом почали розв'язувати рівняння для такого варіанту. (Саме так ми, науковці-дослідники, спілкуємося між собою – ідемо з крейдою до дошки або беремо аркуш паперу, щоб розв'язати задачу за допомогою рівнянь.) Ми написали рівняння для сили Лоренца, за допомогою якої Пек розраховує розігнати свої чіпи довкола Юпітера, а тоді зменшили ці чіпи до розміру молекул і вмістили їх у гіпотетичний прискорювач частинок на кшталт великого адронного колайдера у ЦЕРНі. Ми швидко побачили, що, згідно з рівняннями, такий нанокорабель можна розігнати майже до швидкості світла лише за допомогою звичайного прискорювача частинок, розташованого на Місяці. Зменшивши розмір нашого зоряного корабля від сантиметрового чіпа до молекули, ми змогли зменшити й розмір потрібного прискорювача від розміру Юпітера до звичайного прискорювача частинок. Здавалося, що ця ідея цілком реальна.



Однак, ретельно проаналізувавши рівняння, ми обоє визнали, що єдина проблема – це стабільність цих делікатних нанокораблів. Чи не станеться так, що прискорювач розірве ці молекули на частини? Як кулька, яку розкручують на мотузці, ці молекули зазнаватимуть дії відцентрової сили, коли їх розганятимуть майже до швидкості світла. Крім того, вони матимуть електричний заряд, тож навіть електричні сили зможуть розірвати їх на друзки. Ми дійшли спільного висновку, що нанокораблі – це реальна можливість, проте потрібні ще десятиріччя досліджень, аби ми могли зменшити Пекові чіпи до розміру молекул і зміцнити настільки, щоб ті вціліли, коли їх розганятимуть до швидкості близької до швидкості світла.

Отже, Мейсон Пек мріє запустити до найближчої зірки рій нанокораблів, сподіваючись, що деяким із них вдасться досягнути мети. Але що вони робитимуть, коли прибудуть на місце?

І тут актуальною стає праця Пея Чжана з Університету Карнегі-Меллона в Кремнієвій Долині. Чжан створив цілу ескадрилью мінівертольотів, яка може колись злетіти над іншою планетою. Він із гордістю показав мені свою ескадрилью мініботів, зовні дуже схожих на іграшкові вертольотики. Однак зовнішність оманлива. Я побачив, що в кожному з них є чіп, напакований складною електронікою. Натиснувши кнопку, Чжан підняв у повітря чотири мініботи, ті розлетілись у різних напрямках і відразу почали передавати нам інформацію. Незабаром мініботи оточили мене з усіх боків.

Функція цих мініботів, пояснив мені Чжан, – допомагати у надзвичайних ситуаціях, таких, як пожежа чи вибух, збираючи інформацію. З часом ці мініботи можна буде обладнати телекамерами і сенсорами, які визначатимуть температуру, тиск, напрям вітру тощо; у випадку якогось природного чи техногенного катаклізму вся ця інформація може виявитись життєво важливою. Тисячі мініботів можна випустити над полем бою, місцем пожежі – чи над поверхнею іншої планети. Ці мініботи підтримують теж зв'язок між собою. Якщо один із них натрапляє на перешкоду, ця інформація відразу передається іншим.

Отже, один із варіантів майбутніх космічних подорожей – запустити до найближчої зірки тисячі дешевих одноразових чіпів, схожих на чіп Мейсона Пека, з швидкістю близькою до швидкості світла. Коли якась частка з них досягне місця призначення, вони випустять крила і лопасті й полетять над поверхнею чужої планети, як ескадрилья мініботів Пея Чжана. Зібрану інформацію вони передаватимуть

на Землю по радіо. Як тільки буде виявлено перспективні планети, туди полетить друге покоління мініботів. Ті створять на цих планетах заводи, що виготовлятимуть нові копії мініботів, які потім полетять до наступної зірки. І так цей процес триватиме безкінечно.

## ВИХІД ІЗ ЗЕМЛІ

До 2100 року ми, ймовірно, пошлемо астронавтів на Марс і на пояс астероїдів, дослідимо супутники Юпітера й почнемо працювати над запуском міжзоряного зонда.

А як же людство? Чи з'являться у нас космічні колонії, які частково розв'яжуть проблему перенаселення на Землі, ставши людям новою домівкою? Чи почне людство покидати Землю до 2100 року?

Ні. Враховуючи вартість космічних польотів, можна спрогнозувати, що більшість людей не ступить на борт космічного корабля й не побачить інших планет ні до 2100 року, ні ще довгий час після цього. Можливо, на той час жменька астронавтів і створить якісь невеличкі бази на інших планетах, однак здебільшого людство залишатиметься прикутим до Землі.

Земля буде людям єдиною домівкою ще багато сторіч, отже, виникає питання: Як розвиватиметься цивілізація? Як наука впливатиме на наш стиль життя, робочі місця й суспільство? Наука – це двигун розвитку, тож як вона трансформує цивілізацію і наш добробут у майбутньому?

Технології й ідеологія розхитують основи капіталізму в XXI сторіччі. Технології роблять уміння й знання єдиним джерелом стабільної стратегічної переваги.

– ЛЕСТЕР ТУРОВ

## 7 МАЙБУТНЄ БАГАТСТВА

*Хто виграс, а хто програс*

У міфології розквіт і занепад могутніх імперій залежали від сили й хитрості армій. Видатні римські полководці перед вирішальними військовими кампаніями молилися в храмах Марса, бога війни. Легендарні подвиги Тора надихали вікінгів на героїчні битви. У давнину люди споруджували велетенські храми й пам'ятники і присвячували їх богам, аби увічнити пам'ять про перемоги над ворогами.

Однак якщо проаналізувати справжні причини розквіту й занепаду великих цивілізацій, то відкриється зовсім інша картина.

Якби ви прилетіли на Землю з Марса 1500 року і побачили всі тогочасні великі цивілізації, то яка з них, на вашу думку, мала б зрештою запанувати над усім світом? Відповідь була б проста: яка завгодно, лише не європейська.

На Сході ви б побачили велику китайську цивілізацію, яка існує вже кілька тисячоліть. Довгий перелік відкриттів, що їх зробили китайці, не має собі рівних: папір, друкарський верстат, порох, компас і т. д. Китайські науковці – найкращі на планеті. Китайська влада єдина, і в країні панує мир.

На Півдні розкинулась Османська імперія, що завоювала замалим не цілу Європу. Ця велика мусульманська цивілізація винайшла

алгебру, здійснила серйозний поступ в оптиці й фізиці й дала назви зіркам. Мистецтво й наука в імперії процвітають. Її могутні армії не наражаються на жодний істотний опір. Стамбул – один із найбільших світових центрів наукового знання.

А з іншого боку – жалюгідні європейські країни, замучені релігійним фундаменталізмом, судами над відьмами та інквізицією. Західна Європа, що швидко деградує ось уже тисячу років від часу падіння Римської імперії, настільки відстала, що здебільшого запозичує технології в інших. Це така собі чорна діра Середньовіччя. Більшість знання Римської імперії давно втрачено, його місце посіли гнітючі релігійні догми. Опозицію чи інакодумство часто зустрічають тортурами, а то й ще гірше. До того ж європейські міста-держави постійно воюють одне з одним.

Що ж сталося?

І Китайська, й Османська імперії вступають у 500-річний період технологічного застою, а в Європі тим часом починається небувалий розквіт науки й технологій.

У 1405 році китайський імператор Чжу Ді зібрав величезну морську армаду – найбільшу за всю історію, – щоб досліджувати світ. (Три невеличкі кораблі Колумба легко б умістилися на палубі лише одного з колосальних суден китайської армади.) Було організовано сім великих експедицій – кожна наступна масштабніша за попередню. Флот обплив довкола узбережжя Південно-Східної Азії, дістався до Африки, Мадагаскару, а можливо, й ще далі. Мореплавці привезли додому багату здобич – речі, делікатеси й екзотичних тварин із віддалених куточків Землі. У звіринці династії Мін виставлено чудові старовинні зображення африканських жирафів.

Проте правителі Китаю були розчаровані. Оце й усе? А де ж могутні армії, здатні помірятися силою з китайською? Невже екзотичні страви й дивовижні тварини – це все, що може запропонувати решта світу? Втративши інтерес, наступні правителі Китаю закинули свій славний флот, і зрештою той згорів. Китай поступово ізолювався від решти світу й занепав, а світ тим часом рвонув уперед.

Щось подібне відбулось і в Османській імперії. Завоювавши більшу частину відомого їм світу, османці зосередились на самих собі й погрузили в релігійному фундаменталізмі й сторіччях застою. Магатгір Могамад, колишній прем'єр-міністр Малайзії, сказав: “Велика ісламська цивілізація занепала, коли мусульманські науковці почали

інтерпретувати знання суто як знання релігії, як учить Коран, і постановили, що все інше знання – несправедне. Як наслідок, мусульмани відмовились від природничих наук, математики, медицини й інших так званих світських дисциплін. Натомість вони довгими годинами дискутували про вчення ісламу і його тлумачення, про ісламську юриспруденцію й ісламську практику, а це призвело до розпаду *умми* – релігійної єдності мусульман – і утворення численних сект, культів і шкіл”.<sup>1</sup>

Тим часом у Європі починалось велике пробудження. Торгівля принесла з собою свіжі, революційні ідеї, поширенню яких сприяв друкарський верстат Гутенберга. Влада церкви після тисячолітнього панування почала слабнути. Університети поступово переходили від тлумачення малозрозумілих уривків Біблії до опанування фізики Ньютона, хімії Дальтона і праць інших науковців. Історик Пол Кеннеді з Єльського університету називає ще одну причину стрімкого розвитку Європи: неперервні війни між майже рівносильними європейськими державами, жодній з яких ніколи не вдавалось запанувати над цілим континентом. Монархи, що постійно воювали один з одним, фінансували наукові дослідження в надії, що плоди цих досліджень допоможуть їм задовольнити територіальні амбіції. Наука була не просто інтелектуальною вправою, а засобом для створення нової зброї й нових шляхів збагачення.

Незабаром розвиток науки й технологій у Європі призвів до послаблення влади Китаю та Османської імперії. Мусульманська цивілізація, що сторіччями процвітала як місток у торгівлі між Сходом і Заходом, почала занепадати, коли європейські мореплавці проторували торговельні шляхи до Нового Світу й на Схід – особливо довкола Африки, в обхід Близького Сходу. А Китай раптом опинився під обстрілом європейських канонерських човнів, що, за іронією долі, використовували два найважливіші китайські винаходи – порох і компас.

Відповідь на питання “Що сталося?” очевидна. Сталися наука і технології. Наука і технології – рушії розвитку. Звісно, можна не зважати на науку й технології, але тільки на свій страх і ризик. Світ не стоїть на місці, доки ви тлумачите релігійний текст. Якщо ви не освоїте найновіших досягнень науки і технологій, то це зроблять ваші конкуренти.

## ОПАНУВАННЯ ЧОТИРЬОХ СИЛ

Але як же так сталося, що Європа, ця темна конячка, після багатьох сторіч невігластва раптом узяла й перегнала Китай і мусульманський світ? У цьому чудесному перетворенні зіграли роль і соціальні, і технологічні чинники.

Якщо проаналізувати світову історію після 1500 року, то стає зрозуміло, що Європа на той час дозріла до нового великого зрушення – цьому сприяли занепад феодалізму, становлення класу торговців і свіжі вітри Відродження. Втім, фізики розглядають цей епохальний перехід крізь призму чотирьох фундаментальних сил, що керують Усесвітом. Ці чотири сили можуть пояснити все довкола нас – від машин, ракет і бомб до зірок і самого Всесвіту. Можливо, нові соціальні тенденції й підготували ґрунт для цього переходу, але саме завдяки опануванню цих сил Європа змогла вибитися в лідери серед держав світу.

Перша з цих сил – це сила тяжіння, що втримує нас на поверхні Землі, не дає Сонцю вибухнути і тримає вкупі Сонячну систему. Друга – електромагнітна сила, що освітлює наші міста, живить енергією двигуни, лазери й комп'ютери. Третя й четверта – це слабка й сильна ядерні взаємодії, що тримають укупі ядро атома, запалюють у небі зірки і породжують термоядерний вогонь у центрі нашого Сонця. Усі чотири фундаментальні сили було відкрито в Європі.

Щоразу, як фізикам удавалось зрозуміти одну з цих сил, історія людства змінювала свій хід, і в Європі були ідеальні умови, щоб використати це нове знання. Ісаак Ньютон, спостерігаючи, як падає яблуко, і дивлячись на Місяць, поставив собі питання, що назавжди змінило історію людства: Якщо яблуко падає, то й Місяць теж падає? Блискуча здогадка допомогла йому збагнути в двадцятитрирічному віці, що яблуко змушують падати на Землю ті самі сили, що керують планетами й кометами в небі. Ньютон зумів застосувати нову математику, яку щойно винайшов, – диференціальне й інтегральне числення, – щоб визначити траєкторії планет і супутників, і вперше в історії розкодував механіку небес. У 1687 році він опублікував свій шедевр *Начала* – чи не найважливішу наукову працю за всі часи, одну з тих, що найбільше вплинули на історію людства.

Ще важливіше те, що Ньютон запровадив новий спосіб мислення – закони механіки, що дають змогу обчислити рух будь-яких тіл через сили, що на них діють. Людина перестала залежати від примх духів, демонів і привидів; з'ясувалося, що об'єкти рухаються, тому що на них діють чітко визначені сили, які можна виміряти і приборкати. Виникла механіка Ньютона, за допомогою якої науковці могли точно передбачити поведінку машин; це, своєю чергою, створило умови для появи парового двигуна і локомотива. Складну динаміку машин на парових двигунах можна було систематично розкласти згідно з законами Ньютона – гвинтик за гвинтиком, важіль за важелем. Відтак Ньютоновий опис гравітації значною мірою проклав шлях до промислової революції в Європі.

Пізніше, у XIX сторіччі, знову в Європі, Майкл Фарадей, Джеймс Кларк Максвелл та інші опанували другу фундаментальну силу – електромагнетизм, – що спричинило наступну важливу революцію. Томас Едісон, коли побудував генератори на станції Перл-Стріт у Нижньому Мангеттені й електрифікував першу вулицю на Землі, відкрив шлях до електрифікації цілої планети. Якщо сьогодні дивитися з космосу на нічну Землю, то видно, як цілі континенти сяють вогнями. Якби інопланетянин побачив Землю з космосу, то відразу зрозумів би, що земляни опанували електромагнетизм. Ми гостро усвідомлюємо свою залежність від нього щоразу, коли електрика раптом зникає. Умить нас відкидає на 100 років у минуле, де немає кредитних карток, комп'ютерів, електричного освітлення, ліфтів, телебачення, радіо, інтернету, двигунів і т. д.

І, нарешті, ядерні взаємодії, що їх теж відкрили європейські науковці, сьогодні змінюють усе довкола нас. Ми вже навчилися не лише розкривати таємниці небес і виявляти джерела енергії зірок, а й зазирати всередину наших тіл, використовуючи це знання в медицині – у магнітно-резонансній, рентгенівській і позитронно-емісійній томографії, променевої терапії і ядерній медицині. Оскільки ядерні взаємодії керують тією величезною енергією, що зберігається всередині атома, то, можливо, саме вони зрештою визначають долю людства. Що нам судилося: благоденствувати, опанувавши невичерпну енергію ядерного синтезу, чи загинути в ядерному пеклі?

## БЛИЗЬКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД СЬОГОДНІ ДО 2030 РОКУ)

### ЧОТИРИ СТАДІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ

Нові соціальні умови в поєднанні з опануванням чотирьох фундаментальних сил природи вивели Європу в лідери серед країн світу. Однак технології динамічні, вони постійно змінюються. Технології народжуються, розвиваються, утверджуються й зникають. Аби зрозуміти, як саме конкретні технології змінюватимуться в найближчому майбутньому, корисно простежити, як технології підпорядковуються певним законам еволюції.

Масові технології зазвичай проходять у своєму розвитку чотири основні стадії. У цьому легко пересвідчитись, проаналізувавши еволюцію паперу, водогону, електрики й комп'ютерів. На першій стадії продукти тієї чи іншої технології настільки дорогоцінні, що їх суворо охороняють. Папір, коли його винайшли у вигляді папірису давні єгиптяни, а потім китайці, тисячі років тому був такий дорогоцінний, що один сувій папірису могли стерегти десятки жерців. Ця скромна технологія дала поштовх розвитку давньої цивілізації.

Друга стадія в еволюції паперу розпочалася близько 1450 року, коли Гутенберг винайшов книгодрукування методом “ручного набору”. З'явилися перші “особисті книжки” – одна людина могла володіти книжкою, що містила мудрість сотень сувоїв папірису. До Гутенберга у цілій Європі налічувалось лише 30 000 книжок, а 1500 року їх було вже 9 мільйонів. Книжки спричинили значне інтелектуальне пожвавлення і стали потужним стимулом для Відродження.

Однак близько 1930 року папір увійшов у третю стадію, коли його вартість упала до одного цента за сторінку. Набули поширення особисті бібліотеки – одна людина могла володіти сотнями книжок. Папір став звичайним споживчим товаром, який продавали тонами. Папір був усюди й ніде, невидимий і всюдисущий. Тепер ми перебуваємо на четвертій стадії, коли папір – це передусім знаряддя моди. Ми прикрашасмо наш світ папером найрізноманітніших кольорів, форм і розмірів. Найбільшу частку міського сміття становить папір. Тож папір еволюціонував від дорогоцінності, яку суворо охороняють, до сміття.

Те саме стосується і водогону. У давнину, на першій стадії еволюції, вода була така дорогоцінна, що однією криницею користувалось



ціле село. Так тривало багато тисячоліть – аж до початку ХХ сторіччя, коли поступово поширилась мережа міських водогонів і ми вступили в другу стадію. Після Другої світової війни водогін вступив у третю стадію: вода стала дешевою й доступною дедалі численнішому середньому класові. Сьогодні водогін перебуває на четвертій стадії – як знаряддя моди, що існує в найрізноманітніших формах, розмірах і застосуваннях. Ми прикрашаємо наш світ водою у вигляді фонтанів і штучних водойм.

Електрика теж пройшла через ті самі стадії. Після революційної праці Томаса Едісона й інших, на першій стадії, ціла фабрика, бувало, послуговувалась єдиною лампочкою і єдиним електричним двигуном. Після Другої світової війни ми вступили в другу стадію, коли з'явилися персональні лампочки і персональні двигуни. Сьогодні електрика ніби розчинилась у середовищі, вона всюди й ніде. Навіть саме слово *електрика* майже вийшло з ужитку. На Різдво ми прикрашаємо будинки сотнями миготливих вогників. Ми звикли, що електрика схована в стінах, що вона всюдисуша. Електрика – це знаряддя моди; вона освітлює Бродвей і прикрашає наш світ.

На четвертій стадії і вода, й електрика перетворилися просто на зручності. Вони такі дешеві, і ми споживаємо їх так багато, що мусимо вимірювати за допомогою лічильників обсяг електрики й води, який надходить у наш дім.

Комп'ютер повторює ту саму схему. Ті компанії, які це зрозуміли, процвітають. Ті, що не зрозуміли, мало не збанкрутували. На першій стадії, у 1950-х роках, компанія *IBM* зі своїм мейнфреймом – великою універсальною ЕОМ – домінувала на ринку. Одна ЕОМ коштувала так дорого, що нею користувались одночасно 100 науковців та інженерів. Однак керівництво *IBM* не взяло до уваги закону Мура, і в 1980-х роках компанія ледь не збанкрутувала, коли настала друга стадія і з'явилися персональні комп'ютери.

Але виробники персональних комп'ютерів теж передчасно розслабились. Вони уявили, що в перспективі на кожному робочому столі стоятиме окремий ізольований комп'ютер. Третя стадія – ера інтернет-технологій, коли один користувач може взаємодіяти з мільйонами комп'ютерів, – заскочила їх зненацька. Сьогодні комп'ютер, ізольований від мережі, можна побачити хіба що в музеї.

Отже, в майбутньому комп'ютер теж неминуче вступить у четверту стадію, коли він зникне і знову відродиться – вже як знаряддя моди. Ми прикрашатимемо наш світ комп'ютерами. Саме слово

комп'ютер поступово вийде з ужитку. У майбутньому найбільшою складовою міського сміття буде вже не папір, а електронні чіпи. Майбутнє комп'ютера – зникнути і стати простою зручністю, яку продаватимуть, як електрику чи воду. Комп'ютерні чіпи поступово зникнуть, тимчасом як обчислення здійснюватимуться “у хмарах”.

Тож еволюція комп'ютера – не таємниця; комп'ютер повторює шлях, який проторували його попередники – електрика, папір і водогін.

Проте комп'ютер і інтернет і досі розвиваються. Коли економіста Джона Стіла Гордона запитали, чи комп'ютерна революція вже закінчилась, той відповів: “Боже мій, звісно ж, ні! Мине ще зі сто років, доки вона повністю вичерпається, як це було з паровим двигуном. Зараз інтернет на такому самому етапі, як була залізниця в 1850-х роках. Це лишень початок”.<sup>2</sup>

Варто зазначити, що не всі технології досягають третьої і четвертої стадії. Приміром, візьмімо локомотив. Для механізованого транспорту перша стадія почалась на початку ХІХ сторіччя, коли з'явився паровоз. Один паровоз міг везти сотню людей. Друга стадія настала на початку ХХ сторіччя з появою “персонального локомотива”, тобто автомобіля. Однак локомотив і автомобіль (по суті, ящик на рейках або колесах) за останні десятиріччя істотно не змінилися. З'явилися лише деякі вдосконалення – потужніші й ефективніші двигуни, а також штучний інтелект. Відтак технології, що не можуть досягти третьої і четвертої стадії, просто вдосконалюватимуться – приміром, у них уміщатимуть чіпи, і вони ставатимуть “розумними”. Деякі технології еволюціонують аж до четвертої стадії – як електрика, комп'ютери, папір і водогін. Інші застряють на проміжній стадії, але продовжують поступово вдосконалюватись – зокрема, за допомогою електронних чіпів і ефективніших двигунів.

## ЧОМУ ВИНИКАЮТЬ “БУЛЬБАШКИ” І КРИЗИ?

Однак сьогодні, після великої рецесії 2008 року, дехто стверджує, що весь цей поступ був ілюзією, що ми мусимо повернутися до простішого життя, що сама система має в собі якусь засадничу хибу.

Якщо проаналізувати історію, то легко виявити, що час до часу з економікою трапляється щось неочікуване – виникають величезні “бульбашки” й кризи, начебто без жодної причини. Здається, що ці явища – випадкові, зумовлені лише мінливістю долі й людською

дурістю. Історики й економісти написали незліченні томи про кризу 2008 року. Вони намагалися зрозуміти, чому вона виникла, розглядаючи найрізноманітніші причини: людську природу, жадібність, корупцію, недоліки законодавства, недостатній контроль і т. д.

Проте я дивлюсь на велику рецесію інакше – крізь призму науки. У тривалій перспективі двигуном розвитку є саме наука. Приміром, *Оксфордська енциклопедія економічної історії* наводить дані досліджень, згідно з якими “90 відсотків зростання доходів в Англії і Сполучених Штатах після 1780 року зумовлено технологічними інноваціями, а не просто накопиченням капіталу”.<sup>3</sup>

Без науки ми були б відкинуті назад на кілька тисячоліть у темне минуле. Але розвиток науки не рівномірний – він відбувається хвилями. Одне важливе відкриття (приміром, винайдення парового двигуна, електричної лампочки чи транзистора) часто тягне за собою каскад другорядних винаходів, які, своєю чергою, спричиняють цілу лавину інновацій і зумовлюють поступ. Усі ці відкриття створюють великий обсяг багатства, відтак хвилі наукового розвитку мусять відображатися в економіці.

Першу велику хвилю спричинив паровий двигун, який зрештою призвів до створення локомотива. Сила пари живила промислову революцію, що перевернула суспільство з ніг на голову. Сила пари створила казкове багатство. Однак при капіталізмі багатство ніколи не лежить без діла. Капітал мусить постійно працювати. Капіталісти весь час намагаються вгадати, де буде наступний прорив, і готові інвестувати своє багатство у ще спекулятивніші схеми, іноді з катастрофічними наслідками.

На початку XIX сторіччя більшість надлишкового багатства, що виникло в результаті промислової революції, вклали в акції локомотивних компаній на Лондонській біржі. По суті, почала утворюватись “бульбашка”: на Лондонській біржі враз з’явилися десятки локомотивних компаній. Вірджинія Пострел, авторка економічного блоку часопису *The New York Times*, написала: “Сто років тому на залізничні компанії припадала половина всіх цінних паперів, що котирувались на Нью-Йоркській біржі”.<sup>4</sup> Оскільки залізничний транспорт тоді ще перебував на початковій стадії розвитку, ця “бульбашка” була нестабільна; зрештою вона луснула й породила кризу 1850 року – одну з найбільших катастроф в історії капіталізму. За нею потягнулась низка міні-криз, які траплялися мало не кожне

десятиріччя й теж були спричинені надлишком багатства, що його створила промислова революція.

У цьому криється іронія: пік розвитку залізниць припав на 1880-і і 1890-і роки. Отже, кризу 1850 року спричинили спекулятивна лихоманка й багатство, створене наукою, однак справжня робота – будівництво залізниць по всьому світу – розтягнулась ще на багато десятиріч після цього.

Томас Фрідман написав: “У ХІХ сторіччі Америка пережила залізничний бум, “бульбашку” і кризу... Але навіть після того, як “бульбашка” луснула, Америці залишилась інфраструктура залізниць, що зробила трансконтинентальні подорожі та перевезення набагато простішими й дешевшими”.<sup>5</sup>

Замість того, щоб капіталісти засвоїли урок, цей цикл незабаром почав повторюватись. Поширилась друга хвиля технологічного розвитку, рушієм якої стали електрика Едісона й автомобілі Форда. Електрифікація промислових підприємств і житлових будинків, а також поширення Фордової *Моделі Т* знову створили казкове багатство. Як завжди, надлишок багатства треба було кудись вкладати. Цього разу він опинився на Американській фондовій біржі у вигляді “бульбашки” з акцій автомобільних і енергетичних компаній. Люди знехтували уроком кризи 1850 року – адже все це сталося вісімдесят років тому, у далекому минулому. У період між 1900 і 1925 роком кількість новостворених автомобільних компаній сягнула 3000, і ринок просто не міг їх усі вмістити.<sup>6</sup> Ця “бульбашка” теж була нестабільна. З цієї й інших причин 1929 року вона луснула, спричинивши Велику депресію.

Однак іронія полягає в тому, що розбудова автомобільних шляхів та електрифікація Америки і Європи відбулися вже після цієї кризи, протягом 1950-х і 1960-х років.

Не так давно ми пережили третю велику хвилю наукового розвитку – з’явилися високі технології у вигляді комп’ютерів, лазерів, космічних супутників, інтернету й електроніки. Казкове багатство, створене високими технологіями, треба було кудись вкладати. Цього разу його вклали в нерухомість, і утворилась величезна “бульбашка”. Ціни на нерухомість злетіли до небес, люди почали брати кредити під заставу власних будинків, використовуючи їх як скарбнички, і від цього “бульбашка” зростала ще швидше. Несумлінні банкіри роздавали іпотечні кредити направо й наліво і роздували цю “бульбашку” ще більше. Люди знову знехтували уроком криз 1850 і 1929 років, які сталися відповідно 160 і 80 років тому. Рано чи пізно ця нова

“бульбашка” мусила луснути, і тому настала криза 2008 року і велика рецесія.

Томас Фрідман написав: “На початку ХХІ сторіччя ми мали бум, “бульбашку” і тепер ось крах у сфері фінансових послуг. Але я боюся, що після всього цього залишиться тільки купа порожніх кондомініумів у Флориді, яких взагалі не варто було будувати, вживані приватні літаки, яких багатії більше не можуть собі дозволити, і нечинні похідні контракти, яких ніхто не розуміє”.<sup>7</sup>

Однак, попри всю ту нерозважливість, яка супроводжувала останню кризу, іронія полягає в тому, що розбудова комп’ютерних мереж, які об’єднують увесь світ, відбуватиметься після кризи 2008 року. Пік інформаційної революції ще попереду.

Відтак постає наступне запитання: Якою буде четверта хвиля? Достеменно цього не знає ніхто. Це може бути якийсь поєднання штучного інтелекту, нанотехнологій, телекомунікацій і біотехнологій. Як і в попередніх циклах, може проминути ще вісімдесят років, доки ці технології створять величезний приріст казкового багатства. Сподіваймося, що 2090 року чи десь тоді люди не знехтують уроком вісімдесятирічної давнини.

## **СЕРЕДИНА СТОРІЧЧЯ (ВІД 2030 ДО 2070 РОКУ)**

### **ХТО ВИГРАЄ, А ХТО ПРОГРАЄ: ПРОФЕСІЇ**

Розвиваючись, технології спричиняють різкі зміни в економіці, що іноді порушують соціальну рівновагу. У кожній революції хтось виграє, а хтось втрачає. Це стане очевидніше ближче до середини цього сторіччя. Давно минули ті часи, коли в кожному селі був коваль і стельмах. Щобільше, ми зовсім не ностальгуємо за багатьма професіями, які залишилися в минулому. Однак постає питання: Які професії будуть актуальні в середині цього сторіччя? Як еволюція технологій змінить ринок праці?

Знайти відповідь частково допоможе інше просте запитання: чого не вміють робити роботи? Як ми побачили, на шляху до створення штучного інтелекту є принаймні два основні камені спотикання: розпізнавання образів і здоровий глузд. Відтак у майбутньому зали-

шаться здебільшого ті професії, які не до снаги роботам, – професії, які вимагають двох зазначених умінь.

Серед “синіх комірців” роботу втратять ті, хто виконує суто механічні операції (як, приміром, складальники на автомобільному конвеєрі), оскільки роботи в цьому непереврені. Комп’ютери створюють враження, наче вони мають інтелект, але це тільки тому, що вони вміють додавати в мільйони разів швидше за нас. Ми забуваємо, що комп’ютери – це лише вдосконалені лічильні машини, і механічна робота – це те, що вони вміють робити найкраще. Саме тому першими від комп’ютерної революції постраждали саме складальники на автомобільних конвеєрах. Це означає, що вся робота, яка зводиться до набору чітких повторюваних рухів, рано чи пізно перейде до роботів.

Хоч як це дивно, чимало “синьокомірцевих” професій благополучно переживе комп’ютерну революцію. Виграють ті, хто виконує немеханічну роботу, яка вимагає розпізнавання образів. Сміттярі, поліціанти, будівельники, садівники й сантехніки – усі вони матимуть роботу в майбутньому. Сміттярі, аби позбирати сміття з-під різних будинків і помешкань, мусять розпізнати пакет зі сміттям, кинути у сміттевоз і відвезти на звалище. Але кожний вид сміття потребує окремого методу утилізації. На будівництві кожне завдання потребує окремих інструментів, креслень та інструкцій. Немає двох абсолютно ідентичних будівельних проєктів чи завдань. Поліціанти мусять аналізувати найрізноманітніші злочини в найрізноманітніших ситуаціях. Щобільше, вони мусять ще й розуміти мотиви й методи злочинців, а це не до снаги жодному комп’ютерові. Так само кожний сад і кожний умивальник унікальний і потребує особливих умінь та інструментів.

Серед “білих комірців” постраждають ті, хто займається посередництвом і різноманітним обліком. Це означає, що всілякі дрібні агенти, брокери, банківські касири, бухгалтери тощо дедалі частіше втрачатимуть роботу, а їхні робочі місця зникатимуть. Ці професії називають “тертям капіталізму”. Вже сьогодні можна купити авіаквиток через інтернет, знайшовши там найвигіднішу ціну, без посередництва торгових агентів.

Приміром, компанія *Merrill Lynch* колись гучно заявляла, що ніколи не перейде на онлайнкову торгівлю цінними паперами. Вона завжди робитиме бізнес старомодним способом. Джон Стеффенз, керівник підрозділу брокерських послуг, казав: “Модель інвестування “Зроби сам”, що ґрунтується на інтернет-торгівлі, треба розглядати

як серйозну загрозу фінансовому життю Америки”.<sup>8</sup> Відтак компанія опинилась у принизливому становищі, коли зрештою була таки вимушена під тиском ринкових сил запровадити онлайнову торгівлю 1999 року. “Рідко коли в історії траплялось таке, щоб лідер галузі був змушений розвертатися на 180 градусів і практично за один день переходити на нову модель ведення бізнесу”, – написав Чарлз Гаспаріно, один із авторів сайту *ZDNet*.<sup>9</sup>

Це також означає, що корпоративна піраміда в перспективі неодмінно “схудне”. Якщо топ-менеджери можуть взаємодіяти безпосередньо з продавцями і представниками на місцях, то зменшується потреба в посередниках, які передають накази згори донизу. Насправді скорочення таких робочих місць почалося відтоді, відколи в офісі вперше з’явився персональний комп’ютер.

То як же посередники зможуть втриматися на ринку в майбутньому? Їм доведеться підвищити якість своєї роботи і запропонувати роботодавцю один товар, якого не можуть дати роботи: здоровий глузд.

Приміром, у майбутньому ви матимете змогу купити будинок через інтернет за допомогою наручного годинника чи контактних лінз. Але ніхто не купуватиме будинку таким способом, оскільки купівля будинку – це одна з найважливіших фінансових операцій у житті людини. Перед такою важливою покупкою ви захочете поговорити з кимось, хто може розповісти вам, де є добрі школи, де низький рівень злочинності, як працює каналізаційна система тощо. Щоб дізнатися це все, ви захочете поговорити з досвідченим агентом, який здатний запропонувати щось більше, ніж просто посередництво.

Так само біржові брокери нижчого рівня втратили роботу внаслідок розвитку онлайнової торгівлі, однак брокери, що дають зважені, мудрі поради стосовно інвестицій, завжди будуть у попиті. Брокери й надалі втрачатимуть роботу, якщо не пропонуватимуть додаткових послуг – таких, як мудрість найкращих ринкових аналітиків і економістів чи інформація з конфіденційних джерел. В епоху, коли онлайнова торгівля безжально знижує вартість біржових операцій, біржові брокери залишаться на ринку лише в тому разі, якщо зможуть продавати також свої нематеріальні активи – досвід, знання й аналітичні здібності.

Отже, серед “білих комірців” виграють ті, хто зможе запропонувати корисний здоровий глузд. Тобто йдеться про професії, що пов’язані з творчістю, – як-от мистецтво, акторство, комедійний жанр, програ-

мування, лідерство, аналітика, наукова діяльність – усе те, що власне “робить нас людьми”.

Люди мистецтва не залишаються без роботи, оскільки інтернет має ненаситну потребу в творчості. Комп’ютери чудово дублюють мистецтво й допомагають митцям прикрашати їхні витвори, але зовсім не вміють створювати нові форми мистецтва. Мистецтво, що надихає, інтригує, хвилює й захоплює, не до снаги комп’ютеріві, бо всі ці властивості потребують здорового глузду.

Романісти, сценаристи й драматурги теж не залишаються без роботи, оскільки вони змальовують реальні ситуації з життя, людські конфлікти, тріумфи й поразки. Комп’ютери не здатні моделювати людську природу, оскільки це вимагає розуміння мотивів і намірів. Комп’ютери не можуть визначити, що саме змушує нас плакати чи сміятись, оскільки самі не вміють ні плакати, ні сміятись і не розуміють, що смішно, а що сумно.

Люди, чії професії пов’язані з людськими стосунками, зокрема юристи, теж не залишаються без роботи.

Хоч робот-юрист і міг би відповісти на прості запитання стосовно законодавства, саме законодавство постійно змінюється водночас із соціальними стандартами і звичаями. Урешті-решт, інтерпретація закону зводиться до ціннісного судження, а комп’ютери на це не особливо здатні. Якби закони були довершені й незмінні, а їхні тлумачення – чіткі й однозначні, то суди, судді та присяжні взагалі були б не потрібні. Робот не може замінити присяжних, оскільки присяжні переважно представляють моральні принципи якоїсь конкретної групи людей, які з часом змінюються. Це було особливо очевидно, коли суддю Верховного суду Поттера Стюарта якось попросили дати визначення порнографії. Той не зміг цього зробити, а натомість відповів: “Коли я її бачу, то завжди знаю, що це порнографія”.

До того ж, мабуть, було б і незаконно, щоб роботи замінили систему правосуддя, оскільки в нашому законодавстві існує фундаментальний принцип: присяжні мають бути такими самими людьми, як ми. Оскільки роботи – не такі самі люди, як ми, то було б незаконно, щоб вони замінили систему правосуддя.

На перший погляд може здатися, що законодавство – точно й однозначно, з чіткими формулюваннями й визначеннями. Але це тільки зовнішнє враження, оскільки тлумачення цих визначень постійно змінюється. Приміром, Конституція США видається чітким



і однозначним документом, однак при тлумаченні спірних моментів Верховний суд весь час розділяється практично навпіл. Суд постійно тлумачить наново кожне слово й кожну фразу в Конституції. Людські цінності дуже мінливі, в цьому легко пересвідчитись, згадавши історію. Приміром, 1857 року Верховний суд США постановив, що раби ніколи не стануть громадянами Сполучених Штатів. У якомусь сенсі, щоб скасувати це рішення, була потрібна громадянська війна і смерть тисяч людей.

Уміння керувати й бути лідером теж цінуватиметься в майбутньому. Лідерство – це, зокрема, вміння оцінити всю наявну інформацію, всі точки зору й можливі варіанти поведінки, а тоді обрати найоптимальніший, який відповідає конкретним цілям. Особлива складність лідерства полягає в тому, що лідер мусить надихати і скеровувати інших людей, кожен з яких має власні чесноти і слабкості. Усі ці функції вимагають глибокого розуміння людської природи, ринкових механізмів тощо, а це не до снаги жодному комп'ютерові.

## МАЙБУТНЄ РОЗВАГ

Усе це також означає, що цілі економічні галузі, такі, як індустрія розваг, сьогодні переживають глибокі зміни. Приміром, музична індустрія з незапам'ятних часів ґрунтувалась на тому, що окремі музиканти ходили від міста до міста й давали вистави. Артисти постійно були в дорозі. Життя їхнє було нелегким, а фінансова винагорода – мізерною. Ця вікова традиція різко змінилась, коли Томас Едісон винайшов фонограф. Умить один співак дістав змогу продавати свої записи мільйонними накладами й одержувати доходи, яких раніше ніхто навіть не уявляв. За якесь одне покоління рок-співаки стали нуворишами. Рок-зірки, котрі ще покоління тому могли бути хіба що скромними офіціантами, раптом перетворились на кумирів молоді.

Однак, на жаль, музична індустрія проігнорувала застороги науковців, які передбачили, що в недалекому майбутньому музику легко пересилатимуть через інтернет, як електронні листи. Замість того, щоб підготуватися до продажу музики через інтернет, представники музичної індустрії спробували судитися з компаніями-зухвальцями, які пропонували музику значно дешевше, ніж на компакт-дисках. Це все одно, що намагатися зупинити океанський приплив. Власне ця

недалекоглядність і спричинила той безлад, який сьогодні панує в музичній індустрії.

(Однак позитивний момент полягає в тому, що тепер невідомі співаки можуть піднятися на вершину слави, оминаючи фактичну цензуру великих музичних компаній. У минулому музичні магнати майже самотійно вирішували, хто буде наступною рок-зіркою. Отже, в майбутньому музиканти ставатимуть популярними демократичнішим способом – через ринкові механізми й технології, а не за бажанням менеджерів шоу-бізнесу.)

Газети сьогодні опинились перед такою самою дилемою. Традиційно газети мали стабільний дохід від реклами, особливо в тематичних рекламних рубриках. Цей дохід був не стільки від продажу газет, скільки від плати за самі рекламні оголошення. Проте сьогодні ми можемо завантажити з інтернету свіжі новини цілком безкоштовно і так само безкоштовно можемо розмістити оголошення на будь-якому з численних рекламних сайтів. Як наслідок, газети по всій країні скорочують обсяги й наклад.

Але цей процес не триватиме вічно. В інтернеті стільки зайвого галасу – усякі самозвані пророки щоденно повчають публіку, а мегаломани намагаються проштовхнути в маси свої химерні ідеї, – що врешті-решт люди почнуть цінувати новий товар: мудрість. Випадкові факти не мають нічого спільного з мудрістю, і в майбутньому люди втомляться від просторікування блогерів і шукатимуть солідні сайти, що пропонуватимуть цей рідкісний товар – мудрість.

Як сказав економіст Геміш МакРей, “насправді, переважна більшість цієї “інформації” – сміття, інтелектуальний аналог спаму”. Однак він стверджує: “Авторитетна думка й надалі залишатиметься в ціні: успішні фінансові аналітики належать до найкраще оплачуваних експертів у світі”.<sup>10</sup>

## МАТРИЦЯ

А як же голлівудські актори? Невже замість того, щоб забезпечувати касовий успіх і перебувати в центрі уваги суспільства, актори раптом опиняться в черзі безробітних? Останнім часом відбувся істотний поступ у комп’ютерній анімації людського тіла, відтак така перспектива для акторів здається майже реальною. Персонажі, ство-

рені за допомогою комп'ютерної анімації, сьогодні тривимірні й мають тіні. Тож, може, актори й акторки невдовзі стануть непотрібні?

Імовірно, цього таки не станеться. У комп'ютерному моделюванні людського обличчя є засадничі проблеми. В процесі еволюції у людей розвинулось дивовижне вміння розрізняти обличчя інших, оскільки від цього часто залежало їхнє життя. Наші давні предки мусили миттєво вирішувати, хто перед ними – ворог чи друг. За лічені секунди вони мусили визначити вік, стать, силу й настрій незнайомця. Ті, хто цього не вмів, попросту не виживали й не передавали своїх генів наступному поколінню. Відтак людський мозок витрачає значну частку своєї потужності на “читання” облич інших людей. Насправді впродовж більшої частини еволюційної історії людства, ще перед тим, як люди навчилися говорити, вони спілкувались за допомогою жестів і рухів тіла, і велика частина їхньої розумової потужності йшла на розпізнавання виразів облич інших людей. Однак комп'ютери, яким складно розпізнавати навіть прості об'єкти довкола, ще гірше вміють моделювати живе людське обличчя. Діти миттєво розпізнають, чи обличчя, яке вони бачать на екрані, належить живій людині, чи це комп'ютерна імітація. (Це пояснюється Принципом печерної людини. Якщо ми маємо вибір: подивитись справжнє кіно з улюбленим актором чи мультфільм із комп'ютерною анімацією, – то ми все ж надаємо перевагу першому.)

Водночас тіло моделювати на комп'ютері значно простіше, ніж обличчя. Голлівуд, створюючи у фільмах реалістичних монстрів і фантастичні створіння, іде спрощеним шляхом. Якийсь актор одягає обтислий комбінезон із сенсорами на суглобах. При кожному рухові актора сенсори надсилають сигнали в комп'ютер; комп'ютер створює анімаційну фігурку, яка точнісінько повторює рухи актора. Саме так знімали фільм *Аватар*.

Одного разу я виступав на конференції, яку організувала Ліверморська національна лабораторія, де розробляють ядерну зброю, і за обідом опинився поряд із чоловіком, який брав участь у зйомках фільму *Матриця*. Той мені розповів, що їм довелося витратити величезний обсяг комп'ютерного часу, аби створити ті дивовижні спецефекти. За його словами, в одній з найскладніших сцен вони мусили повністю перебудувати вигадане місто, коли над ним летів вертоліт. Маючи достатньо комп'ютерного часу, він міг би створити ціле фантастичне місто. Але, зізнався він, змоделювати живе людське обличчя він не вміє. Річ у тім, що коли промінь світла потрапляє на

людське обличчя, то він розсіюється у всіх напрямках, залежно від текстури шкіри. Комп'ютер мусить відстежити кожний фотон. Тобто кожну точку шкіри на обличчі людини треба описати складною математичною функцією, а це справжній “менінгіт” для програміста.

Я зауважив, що це дуже нагадує фізику високих енергій – мою спеціальність. У прискорювачах частинок ми створюємо потужний пучок протонів, що вдаряє в мішень; у результаті ядерні уламки розлітаються у всіх напрямках. Тоді ми запроваджуємо математичну функцію (що має назву формфактор), яка описує кожну частинку.

Напівжартома я запитав: чи немає часом якогось зв'язку між людським обличчям і фізикою частинок високих енергій? Є, відповів мій співрозмовник. Комп'ютерні аніматори, створюючи на екрані обличчя, застосовують ту саму математику, яка використовується у фізиці високих енергій! Я ніколи не думав, що ті малозрозумілі формули, якими оперують фізики-теоретики, можуть колись розв'язати проблему моделювання людського обличчя. Отже, наше вміння розпізнавати людські обличчя аналогічне тому, як ми, фізики, аналізуємо субатомні частинки!

## ДАЛЕКЕ МАЙБУТНЄ (ВІД 2070 ДО 2100 РОКУ)

### ВПЛИВ НА КАПІТАЛІЗМ

Нові технології, про які ми говорили в цій книжці, настільки потужні, що до кінця сторіччя вони неодмінно вплинуть на саму суть капіталізму. Закони попиту і пропозиції залишаються такі самі, проте розвиток науки й технологій змінив капіталізм Адама Сміта в багатьох аспектах – від способів розповсюдження товарів до самої природи багатства. Ось декілька найяскравіших прикладів того, як змінився капіталізм.

- **Досконалий капіталізм**

Капіталізм Адама Сміта ґрунтується на законах попиту і пропозиції: ціна визначається в той момент, коли пропозиція товару відповідає попитові на нього. Якщо товару бракує і на нього існує попит, то ціна такого товару зростає. Але споживач і виробник мають лише часткове, недоскона-

ле уявлення про попит і пропозицію на конкретний товар, відтак ціна може істотно коливатись залежно від регіону. Отже, капіталізм Адама Сміта був недосконалий. Однак у майбутньому ситуація поступово змінюватиметься.

“Досконалий капіталізм” – це коли виробник і споживач мають повну інформацію про ринок, а ціни на товари ідеально відрегульовані попитом і пропозицією. Приміром, у майбутньому споживачі зможуть зайти в інтернет через контактну лінзу й одержати вичерпну інформацію про всі ціни і властивості якого завгодно товару. Уже сьогодні можна знайти в інтернеті найвигідніші ціни на авіаквитки. З часом така можливість пошириться на всі товари у світі. Чи то через окуляри, чи через настінні екрани, чи через мобільні телефони споживачі зможуть дізнатися про той чи інший товар абсолютно все. Приміром, у продуктивій крамниці ви оглядатимете різні продукти на стелажах і за допомогою інтернету в контактній лінзі одразу оцінюватимете, чи варто їх купувати за зазначеними цінами. Перевага буде на боці споживача, оскільки він зможе вмить дізнатися про товар усе – історію, відгуки попередніх покупців, ціну в порівнянні з іншими аналогічними товарами, а також сильні й слабкі сторони.

Виробник теж одержить деякі додаткові можливості – зокрема він зможе добувати потрібну інформацію з баз даних, щоб вивчати бажання й потреби споживача, а також шукати в інтернеті ціни на різні товари. Це суттєво допоможе йому встановлювати оптимальні ціни на власні товари. Але в основному переваги матиме споживач, який миттєво матиме порівняльну інформацію про будь-який товар і який завжди вимагає найнижчої ціни. Виробникові доведеться реагувати на постійно змінні вимоги споживача.

- **Від масового виробництва до масового індивідуалізованого виробництва**

Сучасна епоха характеризується масовим виробництвом товарів. Генрі Форд якось сказав знамениту фразу, що споживач може мати форд *Модель Т* будь-якого кольору, якщо тільки той буде чорним. Масове виробництво різко знизило ціни, замінивши стару неефективну систему гільдій і кустарних товарів. Але комп’ютерна революція змінить і це.

Сьогодні, якщо клієнтка бачить у крамниці сукню досконалої моделі й кольору, але невідповідного розміру, то вона її не купить. Однак у майбутньому ми зберігатимемо наші точні мірки на кредитній картці або в електронному гаманці. Якщо сукня чи інший одяг не пасуватиме за розміром, то ми зможемо відіслати електронною поштою на фабрику свої мірки, й фабрика відразу пошиє нам сукню потрібного розміру. У майбутньому все завжди пасуватиме.

Сьогодні масове індивідуалізоване виробництво не вигідне – занадто дорого виготовляти новий товар лише для одного клієнта. Але коли всі будуть постійно під'єднані до інтернету – в тому числі фабрики, – вартість індивідуалізованого виробництва товару зрівняється з вартістю масового.

- **Масові технології як комунальні послуги**

Коли технології масово поширюються, як, зокрема, електрика й водогін, то зрештою вони перетворюються на комунальні послуги. Ринок змушує виробників знижувати ціни й посилює конкуренцію; в результаті технології починають продаватися як комунальні послуги – тобто нас не цікавить, звідки вони беруться, і ми платимо за них лише тоді, коли вони нам потрібні. Те саме стосується комп'ютерних ресурсів. “Хмарні обчислення”, що використовують здебільшого комп'ютерні потужності інтернету, поступово ставатимуть дедалі популярнішими. “Хмарні обчислення” перетворюють комп'ютерні ресурси на комунальну послугу – щось таке, за що ми платимо тільки тоді, коли цього потребуємо, і про що забуваємо, коли цього не потребуємо.

Сьогодні ситуація інакша: здебільшого ми друкуємо й опрацьовуємо свої тексти чи створюємо зображення на стаціонарному комп'ютері або на лептопі, а тоді під'єднуємося до інтернету, коли хочемо знайти там якусь інформацію. В майбутньому ми зможемо поступово взагалі усунути комп'ютер із цього процесу й опрацьовувати всю інформацію безпосередньо в інтернеті, а потім тільки платити за використаний час. Так комп'ютерні ресурси перетворяться на комунальну послугу, облік якої вестимуть, як облік води й електрики. Ми житимемо у світі, де наші побутові прилади, меблі, одяг і т. д. будуть “розумні”, і ми з ними розмовлятимемо, коли нам будуть потрібні їхні послуги. Інтернет-екрани будуть схо-

вані всюди, і клавіатура з'являтиметься вмить, щойно ми її потребуватимемо. Функція замінить форму – отже, хоч як це парадоксально, в процесі комп'ютерної революції сам комп'ютер урешті-решт зникне “в хмарах”.

- **Орієнтація на конкретного споживача**

Компанії завжди розміщували рекламу в газетах, на радіо, на телебаченні тощо, часто не маючи ані найменшого уявлення про її результативність. Ефективність рекламної кампанії можна було оцінити тільки за зростанням обсягів продажу. Але в майбутньому компанії дізнаватимуться майже миттєво, скільки людей завантажило чи переглянуло їхні продукти. Якщо з вами проводять інтерв'ю на якомусь інтернет-радіосайті, то можна точно визначити, скільки людей вас слухало. Це дасть змогу компаніям орієнтуватися на дуже чітку аудиторію.

(У зв'язку з цим, однак, постає інше питання – делікатне питання приватності, що в майбутньому стане однією з найбільших проблем. У минулому були побоювання, що комп'ютер може уможливити існування Старшого брата. В романі Джорджа Орвелла *1984* на всій Землі встановлюється тоталітарний режим і світ стає жахливим: усюди шпигуни, всі свободи придушені, а життя перетворюється на нескінченну низку принижень. У якийсь момент інтернет і справді міг перерости в такого всюдисущого електронного шпигуна. Але 1989 року після розпаду Радянського блоку Національний науковий фонд, по суті, зробив його загальнодоступним і перетворив із передусім військового інструмента на мережу, що об'єднала університети й навіть комерційні підприємства; врешті-решт це привело до вибуху інтернет-технологій у 1990-х роках. Сьогодні Старший брат уже не міг би існувати. Справжня проблема тепер – це “менший брат”, тобто нав'язливі пліткарі, дрібні шахраї, таблоїди і навіть корпорації, що вишуковують у мережі інформацію, аби дізнатися про наші особисті смаки. Як ми побачимо в наступному розділі, ця проблема не зникне, а з часом лише видозмінюватиметься. Найімовірніше, що триватиме вічна гра в коти-мишки між програмістами, що створюватимуть програми для захисту нашої приватної інформації, й іншими, що створюватимуть програми, аби цей захист зламати.)

## ВІД ТОВАРНОГО КАПІТАЛІЗМУ ДО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КАПІТАЛІЗМУ

Досі ми запитували тільки, як саме технології змінюють спосіб функціонування капіталізму. А як же розвиток високих технологій позначається на самій природі капіталізму? Усе сум'яття, спричинене комп'ютерною революцією, насправді означає одне: перехід від капіталізму товарів до інтелектуального капіталізму.

У часи Адама Сміта багатство вимірювалось товарами. Ціни на товари коливаються, але в середньому в останні 150 років ці ціни незмінно падають. Сьогодні ви їсте на сніданок те, чого 100 років тому не міг мати навіть король Англії. Екзотичні делікатеси з усього світу сьогодні продаються чи не у всіх супермаркетах. Падіння цін на товари зумовлене комплексом різних чинників, до яких належить масове виробництво, контейнеризація, транспортна інфраструктура, зв'язок і конкуренція.

(Наприклад, сучасним школярам важко зрозуміти, чому Колумб ризикував життям і здоров'ям, аби тільки знайти коротший торговельний шлях до прянощів Сходу. Чому він не міг просто піти до супермаркету, запитують школярі, і купити якогось майорану? Але в часи Колумба прянощі коштували страшенно дорого. Вони були такі цінні тому, що допомагали поліпшити смак підіпсутої їжі – адже холодильників тоді не було. У ті часи навіть королям та імператорам іноді доводилось їсти на обід зіпсуті харчі. Не було ні автомобілів-рефрижераторів, ні контейнерів, ні відповідних суден, щоб перевозити прянощі через океан. Тому ці товари і цінувались так високо, що Колумб поставив на карту власне життя, аби їх добути, хоч сьогодні їх продають за копійки.)

На зміну товарному капіталізму сьогодні приходять інтелектуальний капіталізм. Інтелектуальний капітал охоплює те, чого поки що не можуть дати роботи і штучний інтелект: розпізнавання образів і здоровий глузд.

Економіст із Массачусетського технологічного інституту Лестер Туров зауважив: “Сьогодні знання й уміння – єдине джерело конкурентної переваги... Кремнієва Долина і Дорога 128 сьогодні там, де вони є, просто тому, що в них зосереджені найкращі мізки. Жодних інших переваг у них немає”.<sup>11</sup>

Чому ж цей історичний перехід розкитує основи капіталізму? Все просто – тому що людський мозок не можна запустити в масове ви-



робництво. Техніку можна виготовляти масово і продавати тонами, а от людський мозок – ні, і це означає, що здоровий глузд буде валютою майбутнього. На відміну від звичних товарів, інтелектуальний капітал можна створити тільки тоді, якщо вибавити, виховати і навчити людину, а це вимагає десятиріч спеціальних зусиль.

Туров сказав: “Тимчасом як усе інше випадає з “рівняння” конкурентоспроможності, знання стало єдиним джерелом стабільної конкурентної переваги”.<sup>12</sup>

Наприклад, програмне забезпечення ставатиме дедалі важливішим за самі комп’ютери. Комп’ютерні чіпи продаватимуть тонами, оскільки їхня ціна постійно падатиме, однак програмне забезпечення доведеться створювати старомодним способом – якась людина мусить сидіти спокійно з олівцем і аркушем паперу і думати. Причому, у вашому ноутбуці можуть бути файли з якимись цінними планами, рукописами й даними, що оцінюються в сотні тисяч доларів, тимчасом як сам ноутбук коштує лише кількесот доларів. Звичайно, програмне забезпечення легко копіювати і розмножувати, але створення нового програмного забезпечення неможливо поставити на конвеєр. Для цього потрібна людська думка.

Як стверджує британський економіст Геміш МакРей, “1991 року Британія стала першою країною, що одержала більший дохід від невидимого експорту (сектора послуг), ніж від видимого”.<sup>13</sup>

Частка виробництва в економіці США за останні десятиріччя різко скоротилась, а тим часом сектор, що охоплює інтелектуальний капіталізм (голлівудські фільми, музична індустрія, відеоігри, комп’ютери, телекомунікації тощо), значно розширився. Перехід від товарного капіталізму до інтелектуального відбувається поступово, починаючи з минулого сторіччя, але з кожним десятиріччям цей процес пришвидшується. Економіст із Массачусетського технологічного інституту Туров пише: “Із поправкою на загальну інфляцію ціни на природні ресурси від середини 1970-х до середини 1990-х років впали майже на 60 відсотків”.<sup>14</sup>

Деякі держави це розуміють. Приклад – Японія у післявоєнний період. Японія не має якихось особливих природних ресурсів, однак її економіка належить до найрозвинутіших у світі. Сьогоднішнє багатство Японії – це свідчення працьовитості і єдності її народу, а не плід багатих природних ресурсів.

Прикро, але чимало держав не усвідомлюють цієї засадничої істини і не готують своїх громадян до майбутнього, покладаючись натомість

головно на матеріальні товари. Це означає, що держави, які володіють багатими природними ресурсами, але не розуміють особливостей сучасної економіки, в майбутньому можуть скотитися в бідність.

## ЦИФРОВЕ РОЗШАРУВАННЯ?

Дехто засуджує інформаційну революцію, стверджуючи, що вона утворить прірву між “цифровими багатіями” і “цифровими бідняками” – тобто між тими, хто має доступ до комп’ютерних потужностей, і тими, хто його не має. Ця революція, запевняють такі люди, загострить суспільні проблеми й породить нову нерівність, що може розірвати тканину суспільства.

Але це тільки вузький погляд на справжню проблему. Оскільки комп’ютерна потужність подвоюється кожні вісімнадцять місяців, то навіть діти з бідних родин тепер одержують доступ до комп’ютера. Тиск середовища й низькі ціни спонукають цих дітей користуватись комп’ютером і інтернетом. В одному експерименті було виділено кошти на придбання ноутбука для кожного класу школи. Попри добрі наміри, ця програма, на загальну думку, провалилась. По-перше, новий ноутбук зазвичай стояв без діла десь у куточку, тому що вчитель часто сам не вмів ним користуватись. По-друге, більшість учнів на той час вже й так мали доступ до інтернету і просто не звертали уваги на шкільний ноутбук.

Проблема не в доступі. Справжня проблема – це робочі місця. Ринок праці нині переживає епохальні зміни, і в майбутньому успішними будуть ті держави, які зуміють цим скористатись.

Для країн, що розвиваються, одна з можливих стратегій – за допомогою матеріального виробництва створити міцний фундамент, а тоді використати цей фундамент як стартовий майданчик для переходу до інтелектуального капіталізму. Наприклад, Китай доволі успішно реалізує цей двоетапний процес: китайці будують тисячі заводів, що виготовляють товари для світового ринку, а прибуток від цього використовують для створення сектора послуг, що ґрунтується на інтелектуальному капіталізмі. У Сполучених Штатах 50 відсотків аспірантів-фізиків – іноземці (здебільшого з тієї причини, що Сполучені Штати не мають достатньо власних студентів належного рівня). Більшість цих аспірантів-іноземців – вихідці з Китаю й Індії. Дехто з них після навчання повертається на батьківщину, щоб створювати там цілком нові економічні галузі.

## НЕКВАЛІФІКОВАНІ РОБОЧІ МІСЦЯ

Однією з жертв переходу до інтелектуального капіталізму стануть некваліфіковані робочі місця. У кожному сторіччі з'являлися нові технології, що спричиняли різкі зміни в економіці й житті людей. Приміром, 1850 року 65 відсотків американської робочої сили працювало на фермах. (Сьогодні ця частка становить лише 2,4 відсотка.) Щось схоже відбудеться і в цьому сторіччі.

У 1800-х роках до США прибували нові хвилі іммігрантів – економіка країни зростала достатньо швидко, щоб умістити їх усіх. Наприклад, у Нью-Йорку іммігранти могли знайти роботу у виробництві одягу чи в інших сферах легкої промисловості. Незалежно від рівня освіти кожний працівник, що бажав чесно працювати, міг знайти собі якесь заняття. Американська економіка нагадувала конвеєр, що приймав іммігрантів з гетто і нетрів Європи і перетворював їх на успішний середній клас Америки.

Економіст Джеймс Грант сказав: “Тривала міграція рук і мізків з полів на заводи, в офіси й навчальні класи – це все зростання продуктивності... Технологічний прогрес – це оплот сучасної економіки. Але це триває вже майже 200 років”.<sup>15</sup>

Сьогодні значної кількості цих некваліфікованих робочих місць уже немає. Щобільше, змінився сам характер економіки. Багато некваліфікованих робочих місць перемістилось за кордон стараннями корпорацій, що шукають дешевої робочої сили. Старі робітничі робочі місця на виробництві зникли вже давно.

Однак у цьому є своєрідна іронія. Довгий час багато людей домогалося рівних умов для всіх, без фаворитизму й дискримінації. Якщо ж робочі місця можна елементарно експортувати за океан, то ці рівні умови тепер поширюються на Китай та Індію. Відтак некваліфіковані робочі місця, що колись слугували містком для переходу в середній клас, тепер можна експортувати в інші країни. Це добре для тамтешніх робітників, оскільки ті можуть скористатися цими рівними умовами, але для Сполучених Штатів наслідки можуть бути негативні: центри промислових міст можуть спустіти.

Споживач від цього теж виграє. В умовах глобальної конкуренції товари й послуги стають дешевшими, а їхнє виробництво й розповсюдження – ефективнішим. Якщо просто намагатися підтримувати застарілі підприємства і надмірно оплачувані робочі місця, то це призводить лише до самозаспокоєння, марнотратства й неефективності.

Субсидювання збиткових галузей тільки відтерміновує неминучий крах і насправді погіршує ситуацію.

Іронія полягає ще й в іншому. Чимало високооплачуваних робочих місць у секторі послуг залишаються незайнятими через брак кваліфікованих претендентів. Часто це зумовлено тим, що система освіти готує недостатню кількість відповідних фахівців, отже, компаніям доводиться задовольнятися менш освіченими працівниками. Корпорації гостро потребують кваліфікованих працівників, яких система освіти просто не продукує. Навіть в економіці, що переживає спад, є робочі місця, для яких не знаходиться належно кваліфікованих претендентів.

Зрозуміло одне. У постіндустріальній економіці чимало робітничих робочих місць у виробництві зникли назавжди. Багато років економісти носилися з ідеєю “реіндустріалізації Америки”, аж доки не зрозуміли, що час неможливо повернути назад. Сполучені Штати і Європа перейшли від переважно індустріальної економіки до економіки послуг кілька десятиріч тому, і цю епохальну зміну неможливо скасувати. Зоряний час індустріалізації назавжди залишився в минулому.

Натомість треба намагатися переорієнтувати економіку й інвестувати в ті сектори, що максимально збільшують інтелектуальний капітал. Це буде одним із найскладніших завдань для урядів у ХХІ сторіччі, і простих рецептів тут не існує. З одного боку, це означає кардинальну реформу системи освіти, так щоб працівники мали змогу перекваліфікуватися, а школярі не опинялися б відразу по закінченню школи в черзі безробітних. Інтелектуальний капіталізм обіцяє робочі місця не тільки для програмістів і науковців, а й у широкому спектрі сфер, що передбачають креативність, мистецькі здібності, інновації, лідерство й аналіз – тобто здоровий глузд. Працівники мусять бути освіченими, щоб приймати виклики ХХІ сторіччя, а не ухилятися від них. Передусім належить переглянути навчальні програми з природничих наук, а вчителі мусять пройти перепідготовку, щоб відповідати вимогам технологічного суспільства майбутнього. (Сумно, що в Америці досі справджується старе прислів'я: “Хто може – той робить. Хто не може – той вчить інших”.)

Економіст із Массачусетського технологічного інституту Лестер Туров сказав: “Успіх чи невдача залежать від того, наскільки успішно країна переходить до інтелектуальних галузей майбутнього, – а не від розміру якогось конкретного сектора економіки”.<sup>16</sup>

Це означає, що нам потрібна нова хвиля підприємців-новаторів, які створять нові галузі й нове багатство на базі технологічних інно-

вацій. Треба розбудити енергію й завзяття цих людей. Треба дати їм змогу стати новими лідерами на ринку.

## ДЕРЖАВИ, ЯКІ ВИГРАЮТЬ І ЯКІ ПРОГРАЮТЬ

Прикро, але багато країн не йдуть цим шляхом, а натомість покладаються суто на товарний капіталізм. Але оскільки ціни на товари ось уже 150 років незмінно падають, то економіки цих держав із часом занепадуть, бо світ залишить їх на узбіччі.

Цей процес не є незворотним. Згадайте Німеччину або Японію 1945 року, коли все населення цих країн було на межі голоду, міста лежали в руїнах, а уряди не функціонували. Лише за одне покоління ці держави зуміли вибитися в лідери світової економіки. Погляньте на сучасний Китай, чия економіка зростає шаленими темпами – на 8-10 відсотків річно, надолужуючи 500 років економічного спаду. Ця держава, яку колись презирливо називали “азійським хворим”, за якесь одне покоління ввійде до числа розвинутих країн.

Спільним між названими трьома державами є те, що кожна з них була згуртована як нація, кожна мала працюючих громадян і кожна виготовляла товари, що мали у світі великий попит. Ці держави спрямували головні зусилля на освіту, на об'єднання країни і на економічний розвиток.

Британський економіст і журналіст МакРей написав: “Старі двигуни зростання – земля, капітал, природні ресурси – більше не мають значення. Земля майже не має значення, оскільки зростання врожайності дало змогу виробляти в індустріальному світі значно більше їжі, ніж цей світ потребує. Капітал уже не має значення, тому що на прибуткові проекти його можна позичити майже в необмежених обсягах на міжнародних ринках за відповідну плату... На зміну цим кількісним активам, що традиційно приносили державам багатство, сьогодні приходять низка якісних рис, які загалом зводяться до якості, організованості, мотивованості й самодисципліни людей, що живуть у державі. Підтвердженням слугує те, що рівень людських умінь стає дедалі важливіший у виробництві, в секторі послуг і в державному секторі”.<sup>17</sup>

Однак не всі держави йдуть цим шляхом. Деякими державами керують некомпетентні лідери, вони роздроблені в культурному й етнічному плані аж до втрати дієздатності і не виготовляють товарів,

на які є попит у решті світу. Замість того, щоб інвестувати в освіту, керівники цих держав витрачають гроші на утримання величезних армій і виробництво зброї, аби тримати народ у страху і зберігати власні привілеї. Замість того, щоб інвестувати в інфраструктуру і пришвидшувати індустріалізацію країни, вони займаються корупцією і роблять усе можливе, щоб залишатися при владі, породжуючи таким чином клептократію, а не меритократію.

Прикро, але ці корумповані уряди розтринькали більшу частину фінансової допомоги, яку надавав Захід, хоч би якою малою вона була. Футурологи Елвін і Гейді Тоффлери зазначають, що за період від 1950 до 2000 року бідні держави одержали від багатих понад 1 трильйон доларів допомоги. Але, пишуть вони далі, “Світовий банк каже нам, що близько 2,8 мільярда людей – майже половина всього населення планети – далі живуть на два долари на день чи й ще бідніше. Із них приблизно 1,1 мільярда животіють у надзвичайних злиднях – менше ніж на один долар на день”.<sup>18</sup>

Звісно, розвинуті держави можуть зробити для держав, що розвиваються, значно більше, ніж просто підтримувати їх на словах. Але навіть за всієї можливої зовнішньої підтримки основну відповідальність за розвиток держави все ж мусить узяти на себе її керівництво. Згадаймо старе прислів'я: “Дайте мені рибу, і я буду ситий один день. Навчіть мене рибалити, і я буду ситий завжди”. Це означає, що замість просто надавати державам, які розвиваються, допомогу, акцент треба робити на освіті й розвиткові нових економічних галузей, щоб ці держави змогли стати самодостатніми.

## ВИКОРИСТАННЯ ДОСЯГНЕНЬ НАУКИ

Країни, що розвиваються, мають шанс скористатися досягненнями інформаційної революції. У принципі, вони можуть обійти розвинуті країни в багатьох аспектах. У розвинутому світі телефонні компанії мусили тягнути телефонні дроти до кожного будинку й кожної ферми, а це було нелегко й недешево. Тим часом країна, що розвивається, сьогодні не мусить обплутувати свою територію дротами, оскільки технологія стільникового зв'язку чудово працює в сільській місцевості без жодних шляхів чи інфраструктури.

Крім того, країни, які розвиваються, мають ту перевагу, що їм не потрібно перебудовувати зношену інфраструктуру. Наприклад,

метрополітени Нью-Йорка і Лондона існують уже понад сто років і гостро потребують ремонту. Сьогодні реконструкція цих застарілих систем коштуватиме більше, ніж будівництво нової системи. Країна, що розвивається, може створити систему метро з нуля, на базі найновіших технологій, з використанням найсучасніших матеріалів і методів будівництва. Цілоком нова система метро може коштувати значно менше, ніж метрополітени сторічного віку.

Китай, приміром, зумів винести урок з усіх містобудівних помилок Заходу і побудував Пекін і Шанхай значно дешевшим коштом, ніж обходиться будівництво великого міста в Європі чи Америці. Сьогодні Пекін будує одну з найбільших і найсучасніших підземних транспортних систем у світі, користаючи з усіх комп'ютерних технологій, створених на Заході, аби задовольняти потреби міського населення, яке стрімко зростає.

Інтернет дає країнам, що розвиваються, ще одну можливість скоротити шлях до майбутнього, уникнувши всіх помилок Заходу, особливо в науковій сфері. Раніше науковцям у країнах, що розвиваються, аби одержати наукові журнали, доводилось покладатися на примітивну поштову систему, яка зазвичай доправляла ці журнали з кількома місячним, якщо не річним, запізненням. Журнали були дорогі й вузькоспеціалізовані, так що передплачувати їх могли тільки найбільші бібліотеки. Співпрацювати з західними науковцями було майже неможливо. Лише достатньо багаті або надзвичайно амбітні мали шанс одержати посаду в західному університеті й працювати під керівництвом якогось відомого науковця. Сьогодні ж будь-який пересічний науковець може побачити нові наукові праці практично з будь-якої точки світу майже тієї ж миті, як вони з'являються в інтернеті, причому безкоштовно. Через інтернет можна також співпрацювати із західними науковцями, навіть якщо ви особисто з ними не знайомі.

## МАЙБУТНЄ ДАЄ ШАНС КОЖНОМУ

Майбутнє відкрите для всіх. Як ми вже зазначали, Кремнієва Долина в найближчі десятиріччя може стати наступним "поясом іржі", коли вік кремнію закінчиться й естафета лідерства перейде до наступного новатора. Які ж держави будуть лідерами в майбутньому? В часи холодної війни наддержавами були ті, хто міг здійснювати військовий вплив по всьому світу. Однак після розпаду Радянського

Союзу стало зрозуміло, що в майбутньому на передові позиції вийдуть держави, які розбудовуватимуть власну економіку, що, своєю чергою, вимагає культивування і плекання науки й технологій.

То хто ж вони, ці лідери завтрашнього дня? Це держави, які посправжньому осягнули цю істину. Приміром, Сполучені Штати зберігають лідерство в науці і технологіях попри те, що американські школярі переважно пасуть задніх на тестах з таких важливих предметів, як природознавство і математика. Так, за результатами тестів 1991 року тринадцятирічні американські школярі опинилися на п'ятнадцятому місці з математики й на чотирнадцятому з природознавства – лише трошки попереду йорданських школярів, які з обох цих предметів посіли вісімнадцяте місце. Тести, що проводилися кожного наступного року, підтверджують цей невтішний рейтинг. (Варто також зазначити, що цей рейтинг приблизно відповідає кількості навчальних днів у році у відповідних країнах. У Китаї, що посів перше місце, школярі навчаються в середньому 251 день на рік, тимчасом як у Сполучених Штатах – тільки 178 днів на рік.)

Здається майже дивом те, що при таких жадливих показниках Сполучені Штати й надалі залишаються в числі світових лідерів у науці й технологіях, – доки не згадаєш, що більшість американської науки приходить до нас з-за кордону – як результат “витоку мізків”. Сполучені Штати мають таємну зброю – візу *H1B*, так звану візу для геніїв. Якщо ви можете довести, що маєте особливий талант, здібності чи наукові знання, то можете без черги одержати візу *H1B*. Саме таким способом постійно поповнюються наші наукові ряди. Наприклад, Кремнієва Долина приблизно на 50 відсотків складається з іммігрантів, багато з яких – вихідці з Тайваню та Індії. По всій країні 50 відсотків аспірантів-фізиків – іноземці. У Міському університеті Нью-Йорка, де я працюю, цей показник наближається до 100 відсотків.

Дехто з конгресменів намагався скасувати візу *H1B*, оскільки, на їхню думку, ця віза відбирає робочі місця в американців, але ці конгресмени просто не розуміють справжньої ролі цієї візи. На найвищі посади в Кремнієвій Долині часто не знаходиться достатньо кваліфікованих американців і, як наслідок, ці посади залишаються вакантними. Цей факт був очевидний, коли колишній канцлер Герхард Шрьодер хотів запровадити аналогічну візу в Німеччині, але йому перешкодили ті, хто заявив, що ця віза забиратиме робочі міс-



ця у корінних німців. Знову ж таки, ці критики не розуміють, що на деякі високі посади серед німців часто не знаходиться відповідних кандидатів, і ці посади залишаються незайнятими. Імігранти з візою *H1B* ні в кого не відбирають робочих місць – вони створюють цілком нові галузі.

Однак віза *H1B* – лише тимчасовий захід. Сполучені Штати не можуть безкінечно жити за рахунок іноземних науковців, багато з яких починають повертатися до Китаю й Індії, оскільки економічна ситуація там покращується. Отже, “витік мізків” може колись припинитися. Це означає, що Сполученим Штатам зрештою доведеться таки кардинально реформувати свою архаїчну й анемічну систему освіти. Сьогодні погано підготовлені випускники шкіл заповнюють ринок праці й університети, створюючи своєрідний “затор”. Працевластачі постійно нарікають, що їм доводиться цілий рік доучувати нових працівників, щоб ті ввійшли в курс справ. А університети мусять створювати нові й нові корекційні курси, мета яких – компенсувати недоліки системи середньої освіти.

На щастя, наші університети й компанії зрештою доволі добре виправляють ту шкоду, якої завдає середня школа, але це все – марна трата часу і здібностей. Щоб Сполучені Штати залишались конкурентноспроможними в майбутньому, ми мусимо докорінно змінити систему початкової та середньої освіти.

Задля справедливості треба визнати, що Сполучені Штати досі мають істотні переваги. Якось я був на коктейлі в Американському музеї природознавства в Нью-Йорку і познайомився там з одним підприємцем у сфері біотехнологій з Бельгії. Я запитав його, чому він виїхав із Бельгії – адже ця країна має власну потужну біотехнологічну промисловість. Він відповів, що в Європі часто неможливо одержати другий шанс. Оскільки всі добре знають тебе і твою сім'ю, варто зробити одну помилку – і кар'єрі кінець. Твої помилки слідує за тобою невідступно, хоч би куди ти поїхав. А в Сполучених Штатах, сказав він, можна весь час відкривати себе наново. Людям немає діла до твоїх предків. Їх цікавить тільки те, що ти можеш зробити для них зараз, сьогодні. Це дуже підбадьорює, сказав мій співрозмовник, і це одна з причин, чому інші європейські науковці виїжджають до Сполучених Штатів.

## УРОК СІНГАПУРУ

На Заході є приказка: “Колесо, яке скрипить, змащують”. А на Сході є інша приказка: “Коли цвях стирчить, його забивають”. Ці дві приказки діаметрально протилежні за змістом і доволі точно виражають сутність західної і східної ментальності.

В Азії школярі часто мають значно вищі оцінки, ніж їхні ровесники на Заході. Однак знання азійських школярів здебільшого суто теоретичні, здобуті через зазубрювання готового матеріалу, а таким способом можна піднятися тільки до певного рівня. Аби досягти вищого рівня в науці й технологіях, потрібні креативність, увага і новаторське мислення, чого східна система аж ніяк не культивує. Відтак, можливо, Китай зрештою і наздожене Захід у масовому виробництві дешевих копій товарів, що вперше з’явилися на Заході; однак він іще багато десятиріч відставатиме від Заходу в сенсі креативності, здатності винаходити нові товари й нові стратегії.

Якось я виступав на конференції в Саудівській Аравії, де іншим головним доповідачем був Лі Куан Ю, прем’єр-міністр Сінгапуру в період із 1959 до 1990 року. Лі Куан Ю – щось на кшталт рок-зірки серед країн, що розвиваються, бо він допоміг створити сучасну державу Сінгапур, що належить до світових лідерів у науці. По суті, Сінгапур – п’ята найбагатша країна світу, якщо орієнтуватись на валовий внутрішній продукт на душу населення. Аудиторія притихла, щоб не пропустити жодного слова з вуст цього легендарного чоловіка.

Він згадав перші повоєнні роки, коли Сінгапур сприймали як другорядний порт, знаменитий передусім піратством, контрабандою, п’яними матросами й іншими малопривабливими речами. А група його соратників мріяла, що колись цей малесенький морський порт зможе порівнятися з Заходом. Сінгапур не мав якихось істотних природних ресурсів, його найціннішим ресурсом були люди – працюючі, однак недостатньо освічені. Лі Куан Ю і його однодумці розпочали дивовижний шлях і лише за одне покоління перетворили сонну відсталу країну на справжній двигун науки. Це, мабуть, один із найцікавіших прикладів соціальної інженерії в історії людства.

Лі Куан Ю і його партія почали систематично перебудовувати всю країну, роблячи акцент на науці й освіті і зосередившись на високотехнологічних галузях. Лише за кілька десятиріч у Сінгапурі з’явилося багато високоосвічених фахівців, що дало країні змогу

стати одним із провідних експортерів електроніки, хімічних препаратів і біомедичного обладнання. У 2006 році в Сінгапурі було виготовлено 10 відсотків усіх напівпровідникових пластин для комп'ютерів у світі.

Лі Куан Ю зізнався, що в процесі модернізації країни його уряд зіткнувся з низкою проблем. Аби забезпечити громадський порядок, довелося запровадити драконівські закони, які забороняли все – від плювання на вулицях (що каралося шмаганням) до продажу наркотиків (за що призначалася смертна кара). А ще Лі Куан Ю помітив одну важливу річ. Провідні науковці світу охоче відвідували Сінгапур, але дуже мало хто погоджувався залишитись там жити. Пізніше він зрозумів причину: в Сінгапурі не було жодного культурного життя чи інших атракцій, які б могли втримати науковців. Це наштовхнуло його на наступну ідею: цілеспрямовано стимулювати розвиток усієї культурної інфраструктури сучасного суспільства (балетних труп, симфонічних оркестрів тощо), щоб найкращі науковці світу захотіли пустити коріння в Сінгапурі. Майже вміть по всій країні почали з'являтися культурні організації та влаштовувались культурні заходи, що мали послугувати приманкою для наукової еліти.

Далі Лі Куан Ю зрозумів, що діти в Сінгапурі сліпо повторюють слова своїх учителів і ані не піддають сумніву загальноприйняті погляди, ані не створюють нових ідей. Він збагнув, що Схід довіку плестиметься в хвості Заходу, якщо його науковці лише наслідуватимуть інших. Тож він розпочав революцію в освіті: креативних учнів виділяли з-поміж інших, і їм дозволялось іти за власною мрією у власному темпі. Усвідомивши, що когось такого, як Білл Гейтс чи Стів Джобс, задушлива освітня система Сінгапуру просто розчавила б, він попросив шкільних учителів систематично виявляти майбутніх геніїв, які б могли пожвавити економіку країни своєю науковою уявою.

Урок Сінгапуру підходить не всім. Це малесеньке місто-держава, де жменьці далекоглядних ентузіастів вдалося повністю перебудувати країну. Крім того, далеко не кожен хоче, щоб його шмагали за те, що він плюнув на вулиці. Однак приклад Сінгапуру показує, що саме треба робити, якщо ви по-справжньому хочете бути в авангарді інформаційної революції.

## ВИКЛИК НА МАЙБУТНЄ

Якось мені довелося провести деякий час в Інституті перспективних досліджень у Принстоні, і один раз я обідав з Фріманом Дайсоном. Той почав згадувати свою довгу кар'єру в науці, а тоді сказав одну річ, яка мене занепокоїла. Перед війною, коли Дайсон учився в університеті у Великій Британії, він зауважив, що найсвітліші голови Англії не хочуть займатися природничими науками, на кшталт фізики чи хімії, а натомість надають перевагу високооплачуваній роботі у фінансовій чи банківській сфері. Попереднє покоління створювало багатство у вигляді електростанцій і хімічних заводів і винаходило нові електромеханічні машини, а наступне покоління воліло лише керувати грошми інших людей. Дайсон журився, що це – ознака занепаду Британської імперії. Англія не могла зберігати статус світової держави, не маючи солідної наукової бази.

Тоді він сказав щось, що привернуло мою увагу.

Фріман Дайсон зауважив, що спостерігає таку ситуацію вдруге в своєму житті. Найсвітліші голови Принстона більше не б'ються над складними задачами з фізики й математики – їх більше приваблює кар'єра в інвестиційно-банківській сфері. Можливо, це теж ознака занепаду – коли лідери суспільства вже не можуть підтримувати винаходи й технології, які власне й забезпечили процвітання суспільства.

Це виклик, на який нам доведеться відповісти в майбутньому.

Людам, що живуть сьогодні, випало жити в найдивовижніші три чи чотири сторіччя в історії людства.

– ДЖУЛІАН САЙМОН

Без пророчих видінь люд розбещений.

– КНИГА ПРИПОВІСТЕЙ СОЛОМОНОВИХ 29:18

## 8 МАЙБУТНЄ ЛЮДСТВА

### *Планетарна цивілізація*

У давніх міфах боги жили серед райської краси небес, високо над дрібними справами простих смертних. Грецькі боги розважались на небесній частині гори Олімп; скандинавські боги, що бились задля честі й вічної слави, бенкетували в священних стінах Валгалли з душами полеглих воїнів. Якщо нам судилося до кінця цього сторіччя здобути владу богів, то як виглядатиме наша цивілізація 2100 року? Куди заведуть людство всі ці технологічні інновації?

Усі технологічні революції, що описані в цій книжці, ведуть до однієї мети: створення планетарної цивілізації. Перехід до неї, мабуть, стане найзнаменнішою віхою в усій історії людства. Справді, сучасне покоління – найважливіше з усіх, що будь-коли жили на Землі, оскільки саме від нього залежатиме, досягнемо ми цієї мети чи скотимося в хаос. Мабуть, із 5000 поколінь проминуло на Землі відтоді, як виникло людство (близько 100 000 років тому в Африці), – і з них усіх саме те покоління, що живе в цьому сторіччі, визначить нашу долю.

Якщо тільки не станеться якоїсь глобальної природної катастрофи чи якогось фатального акту безумства, то людство неминуче вступить у цю фазу нашої колективної історії. Це можна чітко побачити, якщо проаналізувати нашу історію освоєння енергії.

## ІЄРАРХІЯ ЦИВІЛІЗАЦІЙ

Коли професійні історики пишуть історію, то вони розглядають її крізь призму людського досвіду і людської дурості – тобто, діянь королів і королев, виникнення соціальних рухів і поширення ідей. Натомість фізики дивляться на історію зовсім інакше.

Фізики оцінюють усе, навіть людські цивілізації, за обсягом споживаної енергії. Якщо застосувати цей принцип до історії людства, то виявляється, що впродовж незліченних тисячоліть енергія, що була доступна людині, обмежувалась  $1/5$  кінської сили, тобто силою однієї пари людських рук; люди вели кочове життя в маленьких племенах, шукаючи собі їжу в суворому ворожому середовищі. Довгий час люди мало чим відрізнялись від вовків. Писемності не було – лиш усні оповіді, що передавались від покоління до покоління біля поодиноких вогнищ. Життя було коротке й жорстоке і в середньому тривало від вісімнадцяти до двадцяти років. Усе майно людини складалось лише з того, що можна було нести на плечах. Більшу частину життя людина страждала від голоду, а після смерті від неї не залишалось жодного сліду, так наче вона ніколи й не жила.

Але 10 000 років тому сталась чудова подія, що дала поштовх розвитку цивілізації: скінчився льодовиковий період. Із причин, досі нам не відомих, зледеніння, що тривало багато тисячоліть, закінчилось. Виникли умови для розвитку сільського господарства. Незабаром люди приручили коней і биків, і енергія, доступна людині, зросла до однієї кінської сили. Тепер одна людина могла обробляти кілька акрів сільськогосподарських угідь і створювати додаткову енергію, щоб прогодувати населення, що швидко зростало. Приручивши тварин, люди вже не мусили добувати собі їжу полюванням, і серед лісів і степів почали з'являтися перші села й міста.

Надлишкове майно, що утворилося в результаті сільськогосподарської революції, породило нові, нетрадиційні способи збереження і примноження цього майна. Виникли математика й письмо, щоб рахувати це майно; знадобились календарі, щоб визначати час посіву і збору врожаю; знадобились писарі й рахівники, щоб облікувати додаткове майно й обкладати податком. Це надлишкове майно зрештою послугувало причиною виникнення великих армій, королівств, імперій, рабства і давніх цивілізацій.

Наступна революція – промислова – відбулась приблизно 300 років тому. Раптом майно, яким володіла одна людина, перестало бути

суто продуктом праці людських рук і тварин, а стало також продуктом роботи машин, що могли забезпечити казкове багатство через масове виробництво.

Парові двигуни приводили в дію потужні машини й локомотиви, отже, майно почали створювати на фабриках, заводах і шахтах, а не тільки на полях. Селяни, рятуючись від голоду і тяжкої праці в полі, масово мігрували до міст, і так утворився промисловий робочий клас.

Ковалів і стельмахів із часом замінили робітники автомобільної промисловості. Із появою двигуна внутрішнього згорання людина освоїла енергію в сотні кіньських сил. Середня тривалість життя почала зростати і до 1900 року становила в Сполучених Штатах сорок дев'ять років.

Нарешті, сьогодні ми маємо третю хвилю, коли багатство породжується інформацією. Багатство держав сьогодні вимірюється бітами інформації, що кружляють довкола світу по волоконно-оптичних кабелях і супутниках і врешті-решт з'являються на екранах комп'ютерів на Волл-Стріт та в інших фінансових столицях. Наука, комерція і розваги поширюються зі швидкістю світла, і ми маємо необмежений доступ до інформації в будь-яку мить, у будь-якому місці.

## ЦИВІЛІЗАЦІЇ ТИПУ I, II І III

Як же це експоненціальне зростання освоєваної енергії продовжуватиметься в наступні століття і тисячоліття? Намагаючись аналізувати цивілізації, фізики оцінюють їх за рівнем енергії, яку ті споживають. Таке ранжування вперше запропонував 1964 року російський астрофізик Микола Кардашов, який намагався шукати в нічному небі сигнали від розвинутих цивілізацій у космосі.

Кардашова не задовольняло таке розпливчате й нечітке визначення, як "позаземна цивілізація", тож він запропонував кількісну шкалу, на яку могли б орієнтуватися астрономи. Він збагнув, що позаземні цивілізації можуть бути дуже різні в сенсі культури, суспільства, принципу урядування тощо, але є одна річ, якій вони всі підпорядковуються: закони фізики. Із Землі ми можемо зафіксувати й виміряти тільки одне – їхнє споживання енергії – і саме за цим критерієм можливо класифікувати ці цивілізації на різні категорії.

Отже, Кардашов припустив, що теоретично існує три типи цивілізацій: цивілізація типу I – планетарна цивілізація, що споживає тільки ту частку сонячного світла, що падає на планету, або приблизно  $10^{17}$  Вт; цивілізація типу II – зоряна цивілізація, що споживає всю енергію, яку випромінює її сонце, або  $10^{27}$  Вт. Цивілізація типу III – це галактична цивілізація, що споживає енергію мільярдів зірок, або близько  $10^{37}$  Вт.

Перевага цієї класифікації полягає в тому, що вона дає нам змогу виразити кількісно енергію кожної цивілізації, замість того щоб робити приблизні й необгрунтовані узагальнення. Оскільки ми знаємо енергетичний вихід цих небесних об'єктів, то можемо, досліджуючи небесний простір, приписати кожному з них конкретні числові обмеження.

Обсяг енергії кожного наступного типу цивілізації більший за попередній у 10 мільярдів разів: цивілізація типу III споживає в 10 мільярдів разів більше енергії, ніж цивілізація типу II (тому що в галактиці є приблизно 10 мільярдів зірок чи й більше), яка, своєю чергою, споживає в 10 мільярдів разів більше енергії, ніж цивілізація типу I.

У такій класифікації наша сучасна цивілізація належить до типу 0. Нас поки що взагалі немає на цій шкалі, оскільки ми добуваємо енергію з мертвих рослин, тобто з нафти й вугілля. (Карл Саган, узагальнюючи цю класифікацію, спробував точніше визначити наше місце на цій космічній шкалі. Його обчислення показали, що насправді ми цивілізація типу 0,7.)

За цією шкалою можна також класифікувати ті різноманітні цивілізації, що їх ми бачимо в науковій фантастиці. Типова цивілізація типу I – це цивілізація Бака Роджерса чи Флеша Гордона, яка освоїла енергетичні ресурси цілої планети. Ці люди контролюють усі джерела енергії на планеті, а отже, вміють за бажанням змінювати погоду, підкорити силу урагану і будувати міста в океанах. Вони мандрують небесами в ракетах, однак енергію й досі добувають здебільшого на одній планеті.

Прикладом цивілізації типу II могла б бути Об'єднана федерація планет з фільму *Зоряний шлях* (без двигуна викривлення), що зуміла колонізувати близько 100 ближніх зірок. Її технології дають змогу контролювати весь енергетичний вихід однієї зірки.

Цивілізацією типу III може бути Імперія з саги *Зоряні війни* або ж Борги із *Зоряного шляху*. І ті, й інші колонізували значну частину галактики, що містить мільярди зоряних систем. Вони можуть подорожувати по всій галактиці, як забажають.



Хоча класифікація Кардашова ґрунтується на планетах, зірках і галактиках, варто зазначити, що може існувати й цивілізація типу IV, яка добуває енергію з позагалактичних джерел. Єдине відоме джерело енергії поза межами нашої галактики – це темна енергія, що становить 73 відсотки матерії й енергії відомого Всесвіту, тимчасом як на світ зірок і галактик припадає лише 4 відсотки Всесвіту. Можливим кандидатом на роль цивілізації типу IV міг би бути богоподібний К'ю із *Зоряного шляху*, чия могутність сягає за межі галактики.)

За допомогою цієї класифікації можна обчислити, за скільки часу ми могли б досягнути кожного з цих типів цивілізацій. Припустимо, що загальний ВВП світової цивілізації зростає на один відсоток річно. Це вірогідне припущення, якщо взяти до уваги середній показник за останні кілька сторіч. У такому разі перехід від одного типу цивілізації до наступного триває приблизно 2500 років. Зростання ВВП на два відсотки річно скорочує цей час до 1200 років.

Але ми також можемо обчислити, за скільки часу наша планета досягне цивілізації типу I. Попри економічні підйоми і спади, буми і кризи, можна обчислити, що за середнього темпу економічного зростання ми досягнемо статусу цивілізації типу I приблизно через 100 років.

## ВІД ЦИВІЛІЗАЦІЇ ТИПУ 0 ДО ЦИВІЛІЗАЦІЇ ТИПУ I

Докази того, що наша цивілізація справді переходить від типу 0 до типу I, ми знаходимо щоразу, як розгортаємо газету. Багато заголовків свідчать, що цивілізація типу I народжується саме зараз, просто у нас на очах.

- Інтернет – це початок планетарної телефонної системи типу I. Уперше в історії людина на одному континенті може без зусиль обмінюватись необмеженою інформацією з кимось на іншому континенті. Насправді багатьом сьогодні вже здається, що вони мають більше спільного з кимось на іншому боці світу, аніж із найближчим сусідом. Цей процес тільки пришвидшуватиметься водночас із тим, як держави прокладатимуть щораз більше волоконно-оптичних кабелів і запускатимуть нові супутники зв'язку. До того ж цей процес неспинний. Навіть якби президент Сполучених

Штатів спробував заборонити інтернет, його б просто висміяли. Сьогодні у світі налічується майже мільярд персональних комп'ютерів, і приблизно чверть усього людства вже побувала в інтернеті бодай один раз.

- Декілька мов – передусім англійська, а за нею китайська – швидко перетворюються на майбутні мови типу I. Приміром, 29 відсотків усіх відвідувачів усесвітньої павутини реєструються в ній англійською мовою, 22 відсотки – китайською, 8 відсотків – іспанською, 6 відсотків – японською і 5 відсотків – французькою. Англійська вже де-факто стала планетарною мовою науки, фінансів, бізнесу й розваг. Англійська – найпопулярніша іноземна мова на планеті. Хоч би де я подорожував, всюди можна порозумітись англійською мовою. Приміром, в Азії, коли зустрічаються в'єтнамець, японець і китаець, то вони спілкуються між собою англійською мовою. Сьогодні на Землі налічується 6000 живих мов, і 90 відсотків з них, на думку Майкла Е. Краussa з Центру вивчення мов корінного населення при Університеті Аляски, у найближчі десятиріччя вимруть. Телекомунікаційна революція пришвидшує цей процес, оскільки тепер люди, що живуть навіть у найвіддаленіших регіонах Землі, читають ічують англійську мову. Це, своєю чергою, стимулює економічний розвиток цих маргінальних країн, адже вони дедалі глибше інтегруються в світову економіку, від чого у них підвищується рівень життя й активізується економічна діяльність.

Дехто шкодуватиме, що мови їхніх предків вийдуть з ужитку. Але, з іншого боку, комп'ютерна революція гарантує, що ці мови не будуть утрачені. Мовці занесуть свої рідні мови й культуру в інтернет, і там вони залишаться назавжди.

- Сьогодні ми спостерігаємо зародження планетарної економіки. Утворення Європейського Союзу та інших торговельних об'єднань свідчить про формування економіки типу I. У минулому між народами Європи тисячоліттями точилися криваві війни. Навіть після повалення Римської імперії племена продовжували винищувати одне одного і з часом перетворились на войовничі держави Європи. Однак сьогодні ці запеклі вороги раптом об'єдналися й утворили

Європейський Союз, що представляє найбільшу концентрацію багатства в світі. Причина, чому ці держави різко відсунули на задній план свої вікові суперечки, полягає в тому, що вони мусять конкурувати з іншим потужним економічним об'єднанням – державами, що підписали Північноамериканську угоду про вільну торгівлю (*NAFTA*). У майбутньому ми станемо свідками утворення нових економічних об'єднань, оскільки дедалі більше країн усвідомлюватиме, що вони не можуть залишатися конкурентно-спроможними поодиноці.

Наочним доказом цього може послугувати велика рецесія 2008 року. За лічені дні ударна хвиля з Волл-Стріт докотилась до фінансових установ Лондона, Токію, Гонконгу й Сінгапуру. Сьогодні неможливо зрозуміти економіку окремої держави, не розуміючи загальних тенденцій, що впливають на світову економіку.

- Сьогодні відбувається становлення планетарного середнього класу. Сотні мільйонів людей у Китаї, Індії та в інших країнах поповнюють його ряди; мабуть, це найбільша соціальна революція за останні півсторіччя. Ця категорія людей чудово орієнтується в культурних, освітніх і економічних тенденціях, що впливають на всю планету. Для планетарного середнього класу головне – не війни, релігія чи суворі моральні кодекси, а політична й соціальна стабільність і споживчі товари. Ідеологічні й плеємні пристрасті, що, можливо, опановували їхніх предків, мало що значать для цих людей, якщо їхня мета – мати будинок у передмісті та два авта. Їхні предки, мабуть, святкували той день, коли сини вирушали на війну; для них же важливо насамперед, щоб діти пішли вчитися в добрий коледж. А ті люди, що зараз із заздрістю спостерігають за успіхами інших, почнуть застановлятися, коли ж настане їхній час. Кенічі Омае, колишній старший партнер міжнародної консалтингової компанії *McKinsey & Company*, пише: “Люди неодмінно почнуть озиратися довкола й запитувати, чому вони не можуть мати того, що мають інші. Важливо теж, що вони почнуть запитувати, чому вони не могли мати цього в минулому”.<sup>1</sup>

- Економіка, а не зброя – ось новий критерій наддержави. Успіх Європейського Союзу і Північноамериканської зони вільної торгівлі акцентує один важливий момент: після закінчення холодної війни стало зрозуміло, що світова наддержава може зберігати своє домінантне становище головно за допомогою економічної потужності. Розв'язувати атомні війни попросту занадто небезпечно – отже, долю держав визначатиме здебільшого економіка. Одним із чинників, що зумовив крах Радянського Союзу, було виснаження його економіки через гонку озброєнь зі Сполученими Штатами. (Як одного разу зазначили радники президента Рональда Рейгана, стратегією Сполучених Штатів було змусити Росію збільшувати витрати на озброєння до такої міри, щоб це призвело до економічної депресії; тобто постійно нарощувати власні військові витрати, щоб росіяни, чия економіка була вдвічі меншою за американську, були змушені довести свій народ до злиднів, аби не відстати в гонці озброєнь від Америки.) Зрозуміло, що в майбутньому наддержава зможе зберігати свій статус тільки за допомогою економічної потужності, яка, своєю чергою, ґрунтується на науці й технологіях.
- Народжується планетарна культура, що ґрунтується на молодіжній культурі (рок-н-рол і молодіжна мода), фільмах (голлівудські блокбастери), високій моді (предмети розкоші) і харчуванні (мережі швидкої їжі для масового споживача). Хоч би куди ви поїхали, всюди ви зауважите ті самі культурні тенденції в музиці, мистецтві й моді. Приміром, Голлівуд обов'язково враховує смаки глобальної аудиторії, коли зважає майбутній успіх потенційного блокбастера. Фільми на крос-культурні теми (бойовики і мелодрами) за участю всесвітніх знаменитостей приносять Голлівуду величезний дохід, що свідчить про зародження планетарної культури.

Ми вже бачили це після Другої світової війни, коли вперше в історії людства ціле покоління молоді мало достатньо особистих доходів, щоб змінити панівну культуру. Раніше діти йшли працювати в поле разом із батьками, щойно досягали підліткового віку. (Власне цим первинно зумовлені тримісячні літні канікули. У Середньовіччі, щойно діти

трохи підросли, їх змушували влітку тяжко працювати в полі.) Однак рівень життя підвищувався, і повоєнне покоління дітей замість поля вже рушило на вулиці. Сьогодні ми бачимо, як схожий процес відбувається в нових і нових країнах, де завдяки економічному розвитку молодь починає одержувати достатньо особистих доходів. Із часом більшість людей світу досягнуть рівня середнього класу; як наслідок, зростуть доходи їхніх дітей, і це підтримуватиме планетарну молодіжну культуру.

Насправді рок-н-рол, голлівудські фільми тощо – це приклади того, як інтелектуальний капіталізм приходить на зміну товарному капіталізму. У найближчі десятиріччя роботи не зможуть створювати музику й фільми, які б могли захопити міжнародну аудиторію.

Те саме відбувається у світі моди – декілька брендів імен тішаються популярністю в усьому світі. Висока мода, що колись призначалась суто для аристократів і багатіїв, стрімко поширюється по всьому світу – водночас із тим, як дедалі більше людей поповнює ряди середнього класу й прагне долучитися до гламуру заможних. Висока мода перестала бути прерогативою привілейованої еліти.

Однак народження планетарної культури не означає, що місцева культура і звичаї зникнуть. Натомість люди будуть двокультурними. З одного боку, вони зберігатимуть свої місцеві культурні традиції (а інтернет гарантує, що ці традиції не забудуться). Багате культурне розмаїття світу збережеться і в майбутньому. Насправді завдяки інтернету деякі малознані особливості місцевої культури можуть стати відомими всьому світові. З іншого боку, люди чудово орієнтуватимуться в мінливих тенденціях світової культури. Представники різних культур спілкуватимуться між собою за допомогою глобальної культури. Це вже відбулося з багатьма місцевими елітами на планеті: вони розмовляють місцевою мовою й дотримуються місцевих звичаїв, однак, спілкуючись з іноземцями, послуговуються англійською мовою і дотримуються міжнародних норм поведінки. Це модель майбутньої цивілізації типу І: місцеві культури процвітатимуть, співіснуючи з ширшою глобальною культурою.

- Новини стають планетарними. Тепер, коли є супутникове телебачення, стільникові телефони, інтернет і т. д., жодна держава не може повністю контролювати й фільтрувати новини. Аматорські відеозаписи з'являються у всіх куточках світу, і для цензури вони недоступні. Коли вибухають війни й революції, реальні картини подій умить транслюються на весь світ – майже в реальному часі. У дев'ятнадцятому сторіччі могутнім державам було відносно легко нав'язувати народу потрібні цінності й маніпулювати новинами. Сьогодні це ще можливо, але в значно меншому масштабі – з огляду на сучасні технології. До того ж водночас зі зростанням рівня освіти у всьому світі зростає й аудиторія для світових новин. Сьогодні політики, зважаючи наслідки власних дій, мусять брати до уваги думку світової спільноти.
- Спорт, який у минулому виконував важливу роль у формуванні племінної, а потім національної ідентичності, сьогодні формує планетарну ідентичність. У планетарному спорті домінують футбол і Олімпійські ігри. Приміром, Олімпіаду 2008 року багато хто розглядав як світовий дебют Китаю, який після сторіч ізоляції прагнув посісти належне місце в світовій культурі. Крім того, це ще один приклад Принципу печерної людини, оскільки спорт – це *High Touch*, однак сьогодні він входить до світу *High Tech*.
- Екологічні загрози сьогодні теж обговорюються в світовому масштабі. Держави розуміють, що шкідливі викиди в довкілля перетинають державні кордони, а отже, можуть спровокувати міжнародну кризу. Вперше ми це побачили, коли в озоновому шарі над Південним полюсом утворилась величезна діра. Відомо, що озоновий шар не пропускає до Землі шкідливе ультрафіолетове і рентгенівське проміння; тому держави об'єдналися, щоб обмежити виробництво і споживання фреонів, які використовують у холодильниках і промислових системах. Монреальський протокол, який підписали 1987 року, істотно зменшив використання хімічних речовин, що руйнують озоновий шар. Натхнені цим міжнародним успіхом, більшість країн 1997 року підписали Кіотський протокол, що має на меті стримати глобальне потепління, яке становить навіть більшу загрозу для екології Землі, ніж руйнування озонового шару.

- Туризм – одна з найдинамічніших галузей на планеті. Упродовж усієї історії люди переважно проживали ціле життя в радіусі кількох миль від того місця, де народились. Безпринципним правителям було легко маніпулювати народом, який майже не контактував з іншими народами. Однак сьогодні можна доволі скромним коштом об'їхати весь світ. Сучасні молоді люди, що подорожують по всьому світу з рюкзаком за плечима, зупиняючись у недорогих молодіжних готелях, завтра стануть політичними лідерами. Дехто каже, що туристи одержують тільки дуже поверхневе уявлення про місцеву культуру, історію й політику. Але варто пам'ятати, що в минулому віддалені культури майже не контактували між собою – хіба що під час війни, часто з трагічними наслідками.
- Зниження цін на міжконтинентальні перельоти теж сприяє контактам між різними народами й поширенню ідеалів демократії; в результаті розв'язувати війни стає складніше. Одним із головних чинників, що породжував ненависть між державами, було нерозуміння народами один одного. Загалом доволі складно розв'язати війну проти народу, з яким ви добре знаєтеся.
- Сама природа війни змінюється, відображаючи нові реалії. Історія свідчить, що дві демократичні держави майже ніколи не воюють одна з одною. Майже всі війни минулого велися або тільки між недемократичними державами, або коли одна з держав була демократична, а інша – ні. Загалом, військову лихоманку найкраще розпалюють демагоги, що демонізують противника. Тим часом у демократичному суспільстві з впливовою пресою, опозиційними партіями і середнім класом, якому добре живеться і якому є що втрачати в разі війни, нагнітати військовий азіотаж значно складніше. Складно пропагувати війну, коли є скептично налаштована преса, а матері хочуть знати, чому їхніх дітей примушують воювати.

У майбутньому війни теж будуть. Як сказав колись пруський військовий теоретик Карл фон Клаузевіц, “війна – це продовження політики іншими засобами”. Хоч у майбутньому війни не припиняться, з поширенням демократії у світі їхня природа зміниться.

(Є ще одна причина, чому вести війни складніше, коли світ стає заможнішим, а людям є що втрачати. Політичний аналітик Едвард Люттвак написав, що сьогодні розв'язати війну складніше, оскільки сім'ї стали меншими. У минулому в сім'ї було в середньому десятеро дітей; найстарший успадковував господарство, а молодші йшли або в ченці, або до війська, або ж у світ шукати кращої долі. Сьогодні ж, коли сім'я має в середньому 1,5 дитини, вже нема кому так легко поповнювати лави війська й церкви. Відтак вести війни буде значно складніше, особливо війни між демократичними державами і партизанами третього світу.)

- Держави ослабнуть, але на 2100 рік ще існуватимуть. Вони все ще будуть потрібні, щоб ухвалювати закони і врегулювати місцеві проблеми. Однак влада і вплив держави істотно зменшаться, коли двигуни економічного зростання стануть спочатку регіональними, а потім і глобальними. Приміром, наприкінці сімнадцятого і на початку вісімнадцятого сторіччя – у час становлення капіталізму – держави були потрібні, щоб запровадити єдину валюту, мову, податки, а також закони про торгівлю й патенти. Національні уряди швидко позбулись феодальних законів і традицій, що стримували розвиток вільної торгівлі й фінансової сфери. Зазвичай цей процес розтягувався приблизно на сторіччя, однак ми бачили й прискорену його версію, коли Отто фон Бісмарк, “залізний канцлер”, 1871 року створив сучасну Німеччину. Так само поступ у напрямі цивілізації типу І змінює природу капіталізму, а економічна влада поступово переходить від урядів держав до регіональних об'єднань і торговельних блоків.

Це не обов'язково приведе до створення світового уряду. Є багато способів існування планетарної цивілізації. Зрозуміло, що національні уряди втратять частину влади, але яка саме влада заповнить утворену прогалину, залежатиме від багатьох історичних, культурних і національних тенденцій, які складно передбачити.

- Боротьба з хворобами в майбутньому відбуватиметься в масштабі цілої планети. У давнину інфекційні хвороби насправді були менш небезпечні, оскільки населення було дуже мало. Приміром, вірус Ебола, що спричиняє невилі-



ковну хворобу, мабуть, достатньо давній, але за тисячі років його жертвами стали лише мешканці кількох сіл. Однак стрімке поширення цивілізації у раніше не заселені райони і зростання міст означають, що такі віруси, як Ебола, треба дуже ретельно контролювати.

Коли населення міст сягнуло кількисот тисяч, хвороби змогли швидко поширюватись і спричиняти справжні епідемії. Той факт, що чума вбила чи не половину всього населення Європи, свідчив – хоч як це парадоксально – про прогрес, оскільки кількість населення сягнула критичної маси, а морські шляхи з'єднали між собою давні міста по всьому світу.

Недавній спалах грипу *H1N1* – це теж мірило нашого прогресу. Ця хвороба виникла, найімовірніше, в Мехіко і миттєво поширилась по всьому світу через авіаподорожі. Але ще важливіше те, що вже за кілька місяців державам світу вдалося секвенувати геном цього вірусу і створити вакцину, якою змогли скористатися десятки мільйонів людей.

## ТЕРОРИЗМ І ДИКТАТУРИ

Однак є групи людей, що інстинктивно опираються рухові до планетарної цивілізації типу I, оскільки розуміють, що суспільство в ній буде прогресивне, вільне, фахово обізнане, заможне й освічене. Ці сили, можливо, не усвідомлюють своїх істинних мотивів і не вміють їх сформулювати, але, по суті, вони борються проти руху людства до цивілізації типу I. До таких сил належать:

- Ісламські терористи, котрі б воліли повернутися на тисячу років назад, в одинадцяте сторіччя, замість того, щоб жити в двадцять першому. Вони не вміють пояснити своє незадоволення в такий спосіб, але, судячи з їхніх заяв, ісламісти воліють жити в теократичній державі, де все – наука, особисті стосунки, політика – підпорядковується суворим релігійним приписам. (Вони забувають, що в минулому велич ісламської цивілізації, її наукові й технічні досягнення були співмірні лише з її толерантністю до нових ідей. Ці терористи не розуміють, що саме було справжнім джерелом минулої величі ісламу.)

- Диктатури, які тримаються на незнанні народу про добробут і прогрес зовнішнього світу. Яскравий приклад – демонстрації, що охопили 2009 року Іран, де уряд намагався заглушити ідеї демонстрантів, а ті використовували *Twitter* і *YouTube*, щоб донести свої погляди до зовнішнього світу.

У минулому казали, що перо сильніше за меч. У майбутньому сильнішим за меч буде комп'ютерний чіп.

Одна з причин, чому народ Північної Кореї – неймовірно бідної держави – не бунтує, полягає в тому, що цей народ ізольований від зовнішнього світу й думає, що там люди теж живуть впроголодь. Північні корейці не розуміють, що вони не мусять миритися з такою долею, і терплять неймовірні страждання.

## ЦИВІЛІЗАЦІЇ ТИПУ II

До того часу, коли через кілька тисяч років суспільство досягне статусу цивілізації типу II, воно стане безсмертним. Ніщо відоме на сьогоднішній науці не може знищити цивілізацію типу II. Оскільки така цивілізація вже давно навчилася контролювати погоду, то вона вміє відвертати або модифікувати льодовикові періоди. Метеорити й комети теж можна вчасно відхиляти від небезпечної траєкторії. Навіть якщо сонце такої цивілізації стане надною, ці люди зможуть евакуюватися в іншу зоряну систему – або ж, можливо, запобігти вибухові зірки. (Приміром, якщо їхнє сонце перетвориться на червоного гіганта, то, можливо, вони зуміють розігнати астероїди довкола своєї планети і за допомогою ефекту гравітаційної “праці” перемістити свою планету далі від Сонця.)

Один зі способів, як цивілізація типу II могла б освоїти весь енергетичний вихід зірки, – це створити довкола цієї зірки величезну сферу, яке поглинатиме все її випромінювання. Таку сферу називають сферою Дайсона.

Цивілізація типу II, найімовірніше, житиме в злагоді. Оскільки космічні подорожі дуже складні, то всяка цивілізація залишатиметься цивілізацією типу I багато сторіч, і цього часу буде достатньо, щоб згладити суперечності всередині суспільства. До того часу, коли цивілізація досягне статусу цивілізації типу II, вона колонізує не

лише всю власну зоряну систему, а й ближні зірки – мабуть у радіусі кількох сот світлових років, але не більше. Цю цивілізацію все ще обмежуватиме швидкість світла.

### ЦИВІЛІЗАЦІЇ ТИПУ III

На той час, коли цивілізація досягне статусу цивілізації типу III, вона вже, ймовірно, дослідить більшу частину своєї галактики. Найзручніший спосіб відвідати сотні мільярдів планет – розіслати по всій галактиці роботів, що вміють самовідтворюватись. Зонд фон Нойманна – це робот, що може створювати безліч копій самого себе; він сідає на супутник якоїсь планети (оскільки там немає іржі та ерозії) й буде з місцевого ґрунту завод, який виготовлятиме тисячі таких самісіньких роботів. Кожний новий робот летить до наступної далекої зоряної системи і там виготовляє ще тисячі копій самого себе. Почавши з одного-єдиного зонда-робота, ми незабаром матимемо сферу з трильйонів таких роботів, яка розширятиметься майже зі швидкістю світла; ці роботи дослідять усю нашу галактику Чумацький Шлях усього за 100 000 років. Оскільки вік Усесвіту становить 13,7 мільярда років, то часу на виникнення (і занепад) цивілізацій було вдосталь. (Так само швидко, в геометричній прогресії, множаться в нашому організмі віруси.)

Є, однак, іще одна можливість. Доки цивілізація досягне статусу цивілізації типу III, вона накопичить достатньо енергетичних ресурсів, щоб спробувати освоїти “енергію Планка” –  $10^{19}$  мільярдів електрон-вольт – енергію, за якої сам простір-час стає нестабільним. (Енергія Планка у квадрильйон разів перевищує обсяг енергії, що його продукує наш найпотужніший прискорювач частинок – Великий адронний колайдер, розташований поблизу Женеви. Це енергія, за якої остаточно перестає діяти Айнштайнова теорія гравітації. Теоретично за такої енергії тканина простору-часу рветься і в ній з’являються малесенькі портали, що можуть вести в інші світи або в інші точки нашого простору-часу.) Щоб опанувати таку величезну енергію, потрібні надпотужні машини неймовірних масштабів, але якби цивілізації типу III це вдалося, то вона могла б прокласти крізь тканину простору-часу “короткі шляхи” – або стиснувши простір, або ж відкривши в ньому “тунелі”. Якщо припустити, що ця цивілізація зуміє подолати низку

серйозних теоретичних і практичних перешкод (зокрема, освоїти достатньо позитивної й негативної енергії та усунути нестабільності), то, теоретично, вона могла б колонізувати цілу галактику.

Такі міркування змушують застановитися, чому ці цивілізації – якщо вони існують – не навідуються до нас. “Де ж вони?” – запитують критики.

Одна можлива відповідь полягає в тому, що, можливо, вони вже навідалися, але ми занадто примітивні, щоб це зауважити. Зонди фон Нойманна, що самовідтворюються, – найпрактичніший спосіб дослідження галактики, і вони не мусять бути величезними. Завдяки революційному поступові нанотехнологій ці зонди можуть бути завдовжки лише кілька дюймів. Можливо, вони перебувають у полі зору всіх, але ми їх не впізнаємо, бо очікуємо чогось зовсім іншого – велетенського зоряного корабля з інопланетянами на борту. Найімовірніше, такий зонд був би повністю автоматичний, напіворганічний і напівелектронний, і в ньому не було б жодного екіпажу.

Коли ж ми нарешті таки зустрінемо прибульців із космосу, то можемо дуже здивуватися, бо ті могли вже давним-давно змінити власну біологію за допомогою робототехніки, нано- і біотехнологій.

Можливо й таке, що ці цивілізації самознищилися. Як ми вже зазначали, перехід від типу 0 до типу I – найнебезпечніший, адже в нашому суспільстві досі є жорстокість, фундаменталізм, расизм та інші пережитки минулого. Цілком можливо, що колись в інших зоряних системах ми знайдемо сліди цивілізацій типу 0, що не змогли перейти до наступного рівня (приміром, атмосфера на їхній планеті могла виявитись занадто гарячою або занадто радіоактивною для життя).

## ПОШУК ПОЗАЗЕМНИХ ЦИВІЛІЗАЦІЙ

Люди на Землі сьогодні, звісно ж, не усвідомлюють, що ми рухаємося до планетарної цивілізації типу I. Немає колективного розуміння того, що нині відбувається цей історичний перехід. Якщо провести опитування, то виявиться, що дехто щось знає про процес глобалізації, а окрім цього немає жодного усвідомлення, що людство прямує до якоїсь конкретної мети.

Усе може різко змінитись, якщо ми знайдемо в космосі якісь ознаки розумного життя. Тоді ми відразу зможемо порівняти наш техно-

логічний рівень із рівнем тієї інопланетної цивілізації. Науковцям передусім буде дуже цікаво дізнатися, які саме типи технологій опанувала ця інша цивілізація.

Нічого не можна спрогнозувати напевно, але, зважаючи на стрімкий технологічний прогрес, імовірно, що ще в цьому сторіччі ми виявимо в космосі якусь розвинуту цивілізацію.

Така можливість з'явилась завдяки двом тенденціям. Перша – це запуск космічних апаратів (телескопа Кеплера і телескопа *KOPOT*), спеціально призначених шукати поза межами Сонячної системи невеликі кам'янисті планети. Очікується, що телескоп Кеплера виявить у космосі до 600 малих землеподібних планет. Наступним кроком ми намагатимемося з'ясувати, чи не йде від цих планет випромінювання, яке б могло свідчити про наявність розумного життя.

У 2001 році мільярдер з корпорації *Microsoft* Пол Аллен почав жертвувати гроші (на сьогодні це вже понад 30 мільйонів доларів), щоб активізувати проект *SETI* (*Search for Extraterrestrial Intelligence – Пошук позаземних цивілізацій*). Завдяки цьому фінансуванню істотно збільшилась кількість радіотелескопів у радіообсерваторії Гет Крік, що розташована на північ від Сан-Франциско. Планується, що Антенна ґратка Аллена складатиметься з 350 радіотелескопів; це буде найпотужніша система радіотелескопів у світі. Якщо в минулому астрономи спромоглися просканувати в пошуках розумного життя тільки трохи більше, ніж 1000 зірок, то Антенна ґратка Аллена дасть змогу збільшити це число в тисячу разів, тобто до мільйона.

Хоч науковці вже майже півсторіччя марно шукають сигналів від позаземних цивілізацій, два зазначені вище чинники тільки недавно надали проекту *SETI* такого потрібного імпульсу. Багато астрономів вважає, що в минулому цьому проекту просто приділяли занадто мало уваги й коштів. Завдяки новим ресурсам і даним *SETI* тепер перетворюється на серйозний науковий проект.

Теоретично можливо, що до кінця цього сторіччя ми виявимо в космосі сигнали від якоїсь розумної цивілізації. (Сет Шостак, директор Інституту *SETI*, сказав мені, що сподівається встановити контакт із такою цивілізацією в межах наступних двадцяти років. Мабуть, цей прогноз занадто оптимістичний, але можна доволі впевнено сказати: було б дивно, якби до кінця цього сторіччя ми не виявили в космосі жодних сигналів від інших цивілізацій.)

Якщо ж такі сигнали з'являться, то це може стати однією з найважливіших віх в історії людства. Голлівудські режисери люблять

сферу – неминуче продукує достатньо відпрацьованого тепла, щоб світитись інфрачервоним випромінюванням. Саме тому Дайсон порадив астрономам шукати зоряні системи, що випромінюють здебільшого інфрачервоне світло. (Утім, наразі таких систем не виявлено.)

Але звідси випливає нова небезпека: будь-яка цивілізація, чие енергоспоживання виходить з-під контролю, може самознищитися. Отже, ми бачимо, що енергія й інформація – це ще не все, що треба для успішного розвитку цивілізації. Нам потрібна нова шкала, яка б ураховувала ефективність, відпрацьоване тепло і забруднення довкілля. Нова шкала, що враховує це все, ґрунтується на іншій концепції, яка має назву ентропія.

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЦИВІЛІЗАЦІЙ ЗА РІВНЕМ ЕНТРОПІЇ

В ідеалі, нам потрібна цивілізація, що зростає в сенсі енергоспоживання й опрацювання інформації, але робить це мудро, так, щоб її планета не стала нестерпно гарячою і не потонула в смітті.

Усе це дуже наочно зображено в диснейському фільмі *ВОЛЛ-І*: в далекому майбутньому людство так забруднило і знівечило Землю, що просто покинуло весь цей безлад і переселилося в розкішні космічні кораблі, де веде легке й приємне життя, мандруючи в космосі.

І тут стають важливими закони термодинаміки. Перший закон просто постулює, що не можна одержати щось взамін за ніщо – тобто безкоштовного сиру не буває. Інакше кажучи, загальний обсяг матерії й енергії у Всесвіті незмінний. Але, як ми побачили в третьому розділі, другий закон термодинаміки – найцікавіший, і навіть може так статися, що колись саме він визначить долю розвинутої цивілізації. Другий закон термодинаміки полягає в тому, що загальна ентропія (безлад, чи хаос) завжди збільшується. Це означає, що немає нічого вічного; все мусить гнити, розкладатись, іржавіти, старіти чи розпадатись. (Ми ніколи не бачимо, щоб загальна ентропія зменшувалась. Приміром, ніхто ще не бачив, щоб смажені яйця вистрибнули зі сковороди і знову загорнулись у шкаралупу. Ніхто ще не бачив, щоб кристалики цукру, що розчинилися в чашці кави, раптом знову “зчинилися” й стрибнули на ложку. Щось таке настільки малоймовірно, що це навіть складно описати словами.)

Отже, якщо цивілізації майбутнього бездумно продукуватимуть енергію, еволюціонуючи до типу II чи III, то вони створять стіль-

ки відпрацьованого тепла, що їхня рідна планета стане непридатною для життя. Ентропія – у вигляді відпрацьованого тепла, хаосу й забруднення довкілля, – по суті, знищить цивілізацію. Аналогічно, якщо цивілізації продукуватимуть інформацію, вирубуючи для цього цілі ліси й накопичуючи гори макулатури, то вони потонуть у власних інформаційних відходах.

Тому ми мусимо запровадити ще одну шкалу для класифікації цивілізацій. Мусимо визначити два нові типи цивілізацій. Перша – це цивілізація, що стримує ентропію, використовуючи всі доступні засоби, щоб обмежувати виробництво відходів і надлишкового тепла. Її потреби в енергії продовжують зростати в геометричній прогресії, однак ця цивілізація усвідомлює, що подальше зростання енергоспоживання може змінити екологію на планеті, зробивши її непридатною для життя. Загальна ентропія, що її породжуватиме розвинута цивілізація, й надалі зростатиме, – це неминуче. Але місцева ентропія на планеті може зменшитись, якщо цивілізація використовуватиме нанотехнології й енергію з відновлювальних джерел, щоб мінімізувати відходи й максимізувати ефективність.

Другий тип цивілізації – це цивілізація, що не переймається зростанням ентропії й безперервно збільшує енергоспоживання. Рано чи пізно її рідна планета стає непридатною для життя, і тоді така цивілізація може спробувати переселитись на інші планети. Однак вартість створення колоній у космосі обмежить її здатність розширюватись. Якщо в такій цивілізації ентропія зростатиме швидше, ніж її здатність до експансії на інші планети, то їй загрожуватиме катастрофа.

## ВІД ПОВЕЛИТЕЛІВ ПРИРОДИ ДО ЇЇ ОХОРОНЦІВ

Як уже зазначалось раніше, в давнину ми лиш пасивно спостерігали за танцем природи, задивляючись з німим подивом на всі таємниці довкола нас. Сьогодні ми схожі на хореографів природи, що вміють “підкориговувати” її закони то тут, то там. А до 2100 року ми станемо господарями природи – навчимося пересувати об’єкти самою силою думки, здобудемо владу над життям і смертю й сягнемо зірок.

Однак якщо ми станемо господарями природи, то нам доведеться також стати її охоронцями. Адже якщо ми допустимо, щоб ентропія зростала безмежно, то неминуче загинемо – в силу законів

термодинаміки. Цивілізація типу II, за означенням, споживає стільки ж енергії, що й зірка; відтак, якщо ентропію ніяк не стримувати, то на планеті стане нестерпно гаряче. Утім, зростання ентропії можливо контролювати.

Коли ми бачимо в музеї паровози з дев'ятнадцятого сторіччя з велетенськими котлами й цілими вагонами чорного вугілля, то розуміємо, наскільки вони були неефективні. Вони втрачали величезну кількість енергії у вигляді відпрацьованого тепла й шкідливих викидів у довкілля. Якщо порівняти ці паровози з гладеньким і безшумним сучасним електропоїздом, то легко зрозуміти, наскільки ефективніше ми використовуємо енергію сьогодні. Потребу у велетенських вугільних електростанціях, що викидають в атмосферу загрозливі обсяги відпрацьованого тепла і шкідливих речовин, можна істотно зменшити, підвищивши ефективність наших пристроїв за допомогою відновлювальних джерел енергії і мінітюаризації. Нанотехнології дають нам змогу скоротити обсяги відпрацьованого тепла навіть іще більше, зменшуючи наші пристрої до атомних розмірів.

До того ж, якщо в цьому сторіччі ми знайдемо надпровідники за кімнатної температури, то наші потреби в енергії докорінно зміняться. Відпрацьованого тепла, яке, як відомо, виникає здебільшого від тертя, майже не буде, ефективність пристроїв різко зросте. Ми вже зазначали, що більшість енергії, особливо в транспортних засобах, витрачається на подолання тертя. Саме тому ми змушені заливати бензин в автомобільний бак; якби ж не було тертя, то доїхати від Каліфорнії до Нью-Йорка можна було б майже не витрачаючи енергії. Можна припустити, що розвинута цивілізація зможе виконувати значно більше завдань, ніж ми сьогодні, використовуючи для цього значно менше енергії. Це означає, що можна спробувати визначити конкретні числові межі обсягу ентропії, що його породжує розвинута цивілізація.

## НАЙНЕБЕЗПЕЧНІШИЙ ПЕРЕХІД

Перехід від нашої теперішньої цивілізації типу 0 до майбутньої цивілізації типу I – мабуть, найважливіший в історії. Саме від нього залежить, чи буде людство й далі благоденствувати та процвітати, чи загине через власну ж дурість. Цей перехід надзвичайно небезпечний, оскільки ми ще не позбулися тієї варварської жорстокості, що



супроводжувала наш важкий і повільний підйом з трясовини доісторичних часів. Зітріть тонкий наліт цивілізації – і ви побачите фундаменталізм, сектантство, расизм, нетерпимість та інші схожі явища у всій їхній красі. Людська природа за останні 100 000 років майже не змінилась, але тепер ми маємо ядерну, хімічну й біологічну зброю, щоб зводити давні рахунки.

Однак, щойно ми здійснимо перехід до цивілізації типу I, у нас буде попереду багато сторіч, щоби владнати наші суперечності. Як ми побачили в попередніх розділах, створювати космічні колонії ще довгий час буде надзвичайно дорого – отже, малоймовірно, що якась істотна частка людства покине Землю й рушить колонізувати Марс чи пояс астероїдів. Доки не з'являться якісь докорінно нові конструкції ракет, що істотно знизять вартість космічних подорожей, або доки ми не збудуємо космічний ліфт, польоти в космос залишатимуться прерогативою урядів і дуже заможних людей. Для більшості мешканців Землі це означає, що вони залишатимуться на рідній планеті й після того, як ми досягнемо статусу цивілізації типу I. Крім того, це означає, що, ставши планетарною цивілізацією типу I, ми матимемо багато сторіч на те, щоб урегулювати наші суперечності.

## ПОШУК МУДРОСТІ

Ми живемо в дуже цікавий час. Наука й технології відкривають нам нові світи, про які раніше ми могли хіба що мріяти. Зазираючи в майбутнє науки з усіма її проблемами й небезпеками, я відчуваю щире надію. У найближчі десятиріччя ми дізнаємося про природу більше, ніж дізнались за всю попередню історію людства, – у багато разів більше.

Але так було не завжди.

Згадаймо слова Бенджаміна Франкліна, останнього видатного науковця й водночас державного діяча Америки, коли його передбачення стосувалось не наступного сторіччя, а наступного тисячоліття. У 1780 році Франклін із жалем зауважив, що люди часто ставляться одне до одного як вовки, – здебільшого через те, що їм складно виживати в цьому суворому світі.

Бенджамін Франклін писав: “Неможливо уявити, як високо може піднятися влада людини над матерією за тисячу років. Можливо, ми навчимося позбавляти великі маси їхньої ваги й надавати їм абсолют-

ної легкості, щоб їх було простіше перевозити. Можливо, сільське господарство вимагатиме менше фізичної праці й даватиме вдвічі більше продукції. Усі хвороби можна буде відвернути або вилікувати, у тому числі й старість, а наше життя – продовжити на скільки завгодно, до допотопного рівня чи й навіть ще більше”.<sup>2</sup>

Франклін написав це в ті часи, коли селяни жили безрадіним життям, тяжко працюючи на землі, коли вози, запряжені волами, везли на базар підіпсуті продукти, коли епідемії й голод були звичним явищем і коли тільки окремі щасливчики жили довше, ніж сорок років. (У Лондоні 1750 року дві третини дітей не доживали до п’яти років.) Франклін жив у такі часи, коли важко було надіятись, що колись людство зуміє розв’язати ці одвічні проблеми. Або ж, як писав 1651 року Томас Гоббс, життя було “самотнє, бідне, огидне, жорстоке й коротке”.

Проте сьогодні – хоч тисячі років відтоді ще не минуло й близько – пророцтва Франкліна починають збуватися.

Ця віра – у те, що здоровий глузд, наука й інтелект колись звільнять нас від гніту минулого, – відобразилась у праці маркіза де Кондорсе *Нарис історичної картини прогресу людського розуму* (опубл. 1795 р.), яку дехто вважає найточнішим передбаченням майбутнього за всі часи. Кондорсе зробив чимало різноманітних прогнозів; усі вони на той час здавались єретичними, однак згодом усі збулись. Він передбачив, що колонії Нового Світу з часом звільняться з-під влади Європи й почнуть швидко розвиватись, успішно користуючись європейськими технологіями. Він передбачив кінець рабства в усьому світі. Він передбачив істотне зростання врожайності сільського господарства й поліпшення якості сільськогосподарської продукції. Він передбачив стрімкий розвиток науки, що принесе людству багато користі. Він передбачив, що колись ми станемо вільнішими від важкої повсякденної праці й матимемо більше дозвілля. Він передбачив, що колись контроль народжуваності набуде великого поширення.

У 1795 році не було жодної надії, що ці передбачення колись збудуться.

Бенджамін Франклін і маркіз де Кондорсе жили в часи, коли життя було коротке й жорстоке, а наука перебувала щойно на початковій стадії розвитку. Озираючись сьогодні на їхні передбачення, ми можемо належно оцінити той стрімкий поступ науки й технологій, що за останні кілька сторіч створив достатньо матеріальних благ, аби

витагнути мільярди людей з мороку й дикунства минулого. Озираючись на світ Франкліна й Кондорсе, ми розуміємо, що з усіх творинь людства найважливіше – це створення науки. Наука витягнула нас із болота і вказала нам шлях до зірок.

Але наука не стоїть на місці. Як ми вже зазначали, до 2100 року ми здобудемо владу міфічних богів, яким колись поклонялись і яких боялися. Зокрема комп'ютерна революція дасть нам змогу маніпулювати матеріальними об'єктами самою силою думки, біотехнологічна революція навчить нас створювати живих істот практично “на замовлення” і продовжить тривалість нашого життя, а нанотехнологічна революція може нас навчити змінювати форму об'єктів і навіть створювати їх “з нічого”. І це все з часом може привести до виникнення планетарної цивілізації типу I. Отже, сучасне покоління – найважливіше з усіх, що будь-коли жили на Землі, оскільки саме від нас залежатиме, станемо ми цивілізацією типу I чи скотимося в хаос.

Однак наука сама по собі морально нейтральна. Наука – як двосічний меч. Один бік цього меча може бити по бідності, хворобах і невігластву, а інший може вдарити по людях. Проти чого і проти кого спрямований цей меч – залежить від мудрості тих, у чиїх руках він перебуває.

Айнштайн колись сказав: “Наука може визначити тільки, що є, а не що має бути, а поза цариною науки моральні оцінки, як і раніше, доконечні.” Наука розв'язує одні проблеми й водночас створює інші, але вже на вищому рівні.

Грубий, руйнівний бік науки ми побачили під час Першої й Другої світових війн. Світ із жахом дивився, як наука несе спустошення й смерть у небачених раніше масштабах, – з'явилися отруйні гази, кулемети, запалювальні бомби, що винищували цілі міста, і насамкінець атомна бомба.

Але наука також дала людству змогу відбудувати міста, зруйновані під час війн, і забезпечити мир і добробут мільярдам людей. Справжня сила науки полягає в тому, що вона дає нам більше можливостей і більше влади – водночас залишаючи вибір. Наука підкреслює інноваційний, творчий і незламний дух людства – так само, як і наші разючі недоліки.

## КЛЮЧ ДО МАЙБУТНЬОГО: МУДРІСТЬ

Отже, наше завдання – знайти мудрість, яка потрібна, щоб правильно орудувати мечем науки. Філософ Іммануїл Кант якось сказав: “Наука – це організоване знання. Мудрість – це організоване життя.”<sup>3</sup> На мою думку, мудрість – це вміння визначити найважливіші питання сучасності, проаналізувати їх у багатьох різних ракурсах, а тоді вибрати те, що несе в собі якусь благородну мету і принцип.

У нашому суспільстві мудрість знайти непросто. Айзек Азімов колись сказав: “Найсумніше в сучасному суспільстві те, що наука накопичує знання швидше, ніж суспільство накопичує мудрість.”<sup>4</sup> На відміну від інформації, мудрість неможливо поширити через блоги чи інтернет-чати. Ми сьогодні тонемо в океані інформації, і тому найцінніший товар у сучасному суспільстві – це мудрість. Без мудрості й глибокого розуміння суті речей ми приречені безцільно плисти за течією, відчуваючи внутрішню порожнечу, коли безмежна інформаційна свобода втратить новизну.

Але звідки береться мудрість? Частково – з аргументованих демократичних дискусій, у яких беруть участь ідеологічні противники. Ці дискусії часто безладні, неввічливі й завжди – бурхливі, але з їхнього гуркоту й диму народжується істина. В нашому суспільстві ці дискусії є виявом його демократичної природи. Як колись зауважив Вінстон Черчилль, “демократія – найгірша форма правління, за винятком усіх інших, які людство спробувало до цього часу”.<sup>5</sup>

Отже, демократія – непроста справа. Над нею треба працювати. Джордж Бернард Шоу якось сказав: “Демократія – це інструмент, який гарантує, що нами керуватимуть не краще, ніж ми того заслуговуємо.”<sup>6</sup>

Сьогодні інтернет, з усіма його недоліками й надмірами, поступово стає гарантом демократичних свобод. Питання, що колись обговорювались за зачиненими дверми, нині обговорюють і аналізують на тисячах веб-сайтів.

Диктатори живуть у страху перед інтернетом, з жахом уявляючи, що буде, якщо їхній народ повстане проти них. Сьогодні жажіття, що змальоване в романі Орвелла *1984*, більше не загрожує людству, а інтернет з інструмента терору перетворюється на інструмент демократії.

З какофонії дискусій народжується мудрість. Але найпевніший спосіб спонукати людей до жвавих, демократичних дискусій – це освіта, адже тільки освічені виборці здатні ухвалювати рішення стосовно технологій, що визначають долю нашої цивілізації. Так чи інак-

ше, люди самі вирішуватимуть, до якої міри варто розвивати ту чи іншу технологію і в якому саме напрямі, – але тільки поінформовані, освічені виборці здатні це вирішити мудро.

Прикро, але багато хто не має жодної гадки про ті величезні виклики, що постануть перед нами в майбутньому. Як створити нові галузі економіки, що мають прийти на зміну старим? Як підготувати молодь до майбутнього ринку праці? Як далеко варто заходити в генній інженерії людини? Як реформувати відсталу, неефективну систему освіти, щоб вона відповідала завданням майбутнього? Як протистояти глобальному потеплінню й розповсюдженню ядерної зброї?

Ключ до демократії – це освічені, поінформовані виборці, що здатні аргументовано й неупереджено обговорювати актуальні проблеми. Мета цієї книжки – допомогти започаткувати дискусію, яка визначить курс цього сторіччя.

## МАЙБУТНЄ ЯК ВАНТАЖНИЙ ПОТЯГ

Отже, майбутнє в наших руках. Ніщо не визначене наперед. Шекспір у трагедії *Юлій Цезар* написав: “Причина, Бруте – не в зірках, а тільки в нас самих”. Або ж, як колись висловився – хай і менш красномовно, – Генрі Форд: “Історія – це здебільшого пусте. Це традиція. Нам не потрібна традиція. Ми хочемо жити сьогодні, і єдина історія, яка чогось варта, – це та історія, яку ми творимо сьогодні.”<sup>7</sup>

Майбутнє схоже на величезний вантажний потяг, що мчить залізничними рейками в наш бік. За цим потягом – важка праця тисяч науковців, які винаходять майбутнє у своїх лабораторіях. Можна почути гудок цього потяга. Він проголошує: біотехнології, штучний інтелект, нанотехнології, телекомунікації. Однак дехто опирається: “Я надто старий. Я вже цього не досягну. Я просто ляжу на рейки, й нехай потяг мене переїде.” Тим часом молоді, енергійні, амбітні реагують інакше: “Візьміть мене на цей потяг! Це моє майбутнє. Це моя доля. Пустіть мене на місце машиніста”.

Сподіваймося, що в цьому сторіччі люди застосовуватимуть меч науки з мудрістю і співчуттям до інших.

Аби краще зрозуміти, як виглядатиме планетарна цивілізація, корисно, мабуть, прожити один день у 2100 році й побачити, як нові технології вплинуть на наше повсякденне життя, професійну діяльність, на наші мрії та сподівання.

Від Арістотеля до Томи Аквінського досконалістю вважали мудрість, що виникає з досвіду і стосунків з іншими людьми, через які добродієсне життя пізнається на прикладі. Ключ до нашої досконалості – не генна інженерія, а виховання характеру.

– СТИВЕН ПОСТ

## 9 ОДИН ДЕНЬ У 2100 РОЦІ

**СІЧЕНЬ 2100 РОКУ, 06:15**

Після бурхливої зустрічі Нового року ви міцно спите.

Раптом спалахує настінний екран. На ньому з'являється знайоме привітне обличчя. Це Моллі – комп'ютерна програма, яку ви нещодавно придбали. Моллі радісно сповіщає:

– Джоне, прокидайся. Тебе терміново викликають до офісу. Це важливо.

– Зачекай-но, Моллі, ти, мабуть, жартуєш, – бурчите ви. – Сьогодні ж Новий рік, і в мене похмілля. Ну що може бути аж таким важливим?

Поволі ви змушуєте себе встати з ліжка й неохоче чалапаєте до ванної кімнати. Доки ви вмиваєтесь, сотні ДНК- і протеїнових сенсорів, схованих у дзеркалі, унітазі й умивальнику, безшумно вмикаються й починають аналізувати молекули в повітрі, яке ви видихаєте, та в рідинах тіла, шукаючи на молекулярному рівні найменших нагуків на хворобу.

Вийшовши з ванної, ви надягаєте на голову пристрій, за допомогою якого можете телепатично керувати цілою домівкою: думкою ви підвищуєте температуру в помешканні, вмикаєте якусь спокійну

музику, просите робота-кухаря приготувати вам сніданок і зварити кави й наказуєте магнітному автомобілеві виїхати з гаража й чекати на вас. Заходите до кухні й бачите, як механічні руки робота-кухаря готують для вас яєчно – саме так, як ви любите.

Тоді ви вставляєте контактні лінзи, щоб під'єднатись до інтернету. Моргаєте – й бачите інтернет, який проектується просто на сітківку ока. Попиваючи гарячу каву, ви починаєте проглядати заголовки новин.

- Станція на Марсі просить додаткових ресурсів. На Марсі наближається зима. Щоб завершити наступний етап колонізації, поселенцям потрібні додаткові ресурси з Землі, які допоможуть їм витримати холод. У планах – розпочати першу фазу терраформування Марса з підвищення температури його поверхні.
- Перші зоряні кораблі готові до запуску. З місячної бази запустять мільйони наноботів, кожний завбільшки з голівку шпильки. Ці наноботи облетять довкола Юпітера, використавши для розгону його магнітне поле, й рушать до однієї з ближніх зірок. Однак мине щонайменше кілька років, доки деякі з них долетять до місця призначення в іншій зоряній системі.
- Іще одна тварина, що давно вимерла, незабаром з'явиться в місцевому зоопарку. Цього разу йдеться про рідкісний вид шаблезубого тигра, якого клонували за допомогою ДНК із замерзлого трупа цієї тварини, знайденого в тундрі. Завдяки глобальному потеплінню науковці добувають ДНК дедалі більшої кількості вимерлих тварин, клони яких поповнюють колекції зоопарків по всьому світу.
- Космічний ліфт, що вже багато років доправляє в космос вантажі, починає возити перших космічних туристів. Відколи відкрився космічний ліфт, вартість космічних подорожей знизилась у 50 разів.
- Найстарішим термоядерним станціям уже майже п'ятдесят років. Настав час деякі з них закривати й будувати нові.
- Науковці уважно стежать за новим смертельним вірусом, що раптово з'явився в джунглях Амазонки. Схоже на те, що цей вірус існує тільки на невеличкій території, проте ліків

від нього наразі немає. Науковці поспішно секвенують його гени, намагаючись виявити слабкі місця і знайти спосіб, як з ним боротися.

Аж раптом одна новина привертає вашу увагу:

- У греблях, що оточують Мангеттен, виявлено велику течу. Якщо греблі не вдасться полагодити, то ціле місто може опинитися під водою, як це вже сталося з багатьма іншими містами.

“Оце так, – кажете ви собі. – Ось чому телефонували з офісу й розбудили мене”.

Ви залишаєте недоїдений сніданок, швидко вдягаєтесь і вибігаєте надвір. Авто вже виїхало з гаража й чекає на вас. Ви телепатично наказуєте йому якомога швидше відвезти вас до офісу. Магнітне авто миттєво зв’язується з інтернетом, GPS і мільярдами чіпів, вмонтованих у дорожнє покриття, щоб постійно контролювати рух.

Авто безшумно рушає з місця й пливе на магнітній подушці над надпровідним дорожнім покриттям. Раптом на лобовому склі з’являється обличчя Моллі.

– Джоне, з офісу передали, що всі збираються в конференц-залі, і просили тебе відразу йти туди. А ще прийшла відеопошта від твоєї сестри.

Авто їде саме, тож ви маєте час переглянути пошту від сестри. Її обличчя з’являється на вашому наручному годиннику. Сестра нагадує:

– Джоне, не забудь, що цієї суботи ми святкуємо день народження Кевіна, – йому виповнюється шість років. Ти обіцяв купити йому найновішу модель робота-песика. І, до речі, ти з кимось зустрічаєшся? Я недавно грала в бридж через інтернет і познайомилася з однією особою, яка може тобі сподобатися.

“Оце так,” – кажете ви собі.

Ви дуже любите їздити в магнітному авті. Не треба хвилюватись через горби чи ями на шляху, оскільки авто пливе в повітрі, не торкаючись дороги. А найприємніше те, що заправляти це авто треба дуже рідко, адже йому майже не доводиться долати тертя. (Важко повірити, думаєте ви, що на початку цього сторіччя була енергетич-



на криза. Ви хитаєте головою, згадуючи, що більшість енергії тоді витрачалась на подолання тертя.)

Ви пам'ятаєте, як відкривали першу надпровідну автомагістраль. Медії голосили, що знайома ера електрики добігає кінця й починається нова ера магнетизму. Насправді ви анітрохи не шкодуєте за ерою електрики. Ви дивитесь у вікно, бачите елегантні легкові автомобілі, вантажівки й потяги, що мчать у повітрі повз вас, і розумієте, що магнетизм – це правильний шлях, і до того ж він заощаджує чимало грошей.

Магнітне авто тепер проминає міське сміттєзвалище. Ви бачите, що більшість сміття – це деталі від комп'ютерів і роботів. Чіпи тепер наймовірніше дешеві, дешевші за воду – і застарілі примірники нагромаджуються на міських звалищах по всьому світу. Вже заводять мову про те, щоб використовувати чіпи для створення штучних островів.

## ОФІС

Нарешті авто зупиняється біля будівлі офісу – штаб-квартири великої будівельної компанії. Ви заходите досередини, заледве помічаючи, що лазерний пристрій беззвучно перевіряє вашу райдужну оболонку й ідентифікує обличчя. Пластикові картки-перепустки більше не потрібні. Ваша перепустка – це ваше тіло.

Конференц-зал майже порожній, за столом сидить лише кілька співробітників. Але за мить ви бачите в контактних лінзах, як довкола столу з'являються тривимірні образи інших учасників зустрічі. Ті, хто не зміг приїхати, присутні тут голографічно.

Ви розглядаєтесь довкола. Контактні лінзи ідентифікують усіх, хто сидить за столом, і показують їхні біографії. А тут зібралось немало важливих персон, подумки зауважуєте ви.

На чільному місці раптом з'являється образ вашого директора.

– Панове, – починає він, – ви вже, мабуть, чули, що в греблі на Мангеттені виникла течя. Справа серйозна, але ми встигли вчасно, тож небезпеки обвалу немає. Утім, роботи, яких ми вислали ремонтувати греблю, на жаль, не впорались.

Світло в залі тьмяніє, і вас зусібіч оточує тривимірне зображення підводної частини греблі. Ви під водою, і просто у вас перед очима – величезна тріщина в мурі.

Зображення обертається, й ви чітко бачите, де саме утворилася течя. Вашу увагу привертає великий дивний розріз у бетоні греблі.

– Самі роботи цього не поладують, – веде далі директор. – Такого типу течі їхня програма не передбачає. Мусимо вислати туди досвідчених фахівців, які оцінять ситуацію й на місці вирішать, що з цим можна зробити. Сподіваюсь, вам не треба нагадувати, що в разі, якщо ми з цим не впорасмось, Нью-Йорк може спіткати така ж доля, як і інші великі міста, що пішли під воду.

Довкола столу пробігає дроз. Усім відомі назви тих великих міст, що їх люди були змушені покинути через підвищення рівня океану. Викопне паливо вже багато десятиріч не використовується як головне джерело енергії на планеті – його замінили відновлювальні види енергії й термоядерна енергія, – однак людство й досі страждає від надлишку вуглекислого газу, що накопичився в атмосфері ще в першій половині минулого сторіччя.

Після довгої дискусії вирішено вислати на місце аварії групу роботів, якими дистанційно керуватимуть люди. І ось тут у гру вступаєте ви. Адже ви брали участь у розробці цих роботів. Належно підготовлені працівники заходять до спеціальних кабінок і надягають на голову шоломи з електродами. За допомогою сигналів мозку вони встановлюють телепатичний зв'язок із роботами. У цих кабінках працівники бачать і відчувають усе, що бачать і відчувають роботи. Вони начебто перебувають на місці аварії, але в нових надлюдських тілах.

Ви справедливо пишастесь своїм творінням. Ці телепатично керовані роботи вже неодноразово доводили власну корисність. Базою на Місяці керують здебільшого люди, що перебувають у таких самих кабінках на Землі, в комфорті й безпеці. Але оскільки радіосигнал із Землі до Місяця йде близько секунди, це означає, що ці спеціалісти мусять урахувати затримку в часі.

(Вам би дуже хотілося, щоб ваші роботи були й на марсіанській базі. Але оскільки до Марса сигнал іде близько 20 хвилин і стільки ж часу – назад, то керувати з Землі роботами на Марсі було б надто складно. На жаль, попри весь технологічний поступ, є одна річ, якої людина не може змінити, – це швидкість світла.)

Однак щось під час наради не дає вам спокою.

Нарешті ви наважуетесь перебити директора:

– Пане директоре, мені дуже неприємно це казати, але тріщина в греблі виглядає так, наче її зробив наш власний робот.

У залі чується голосний гомін.

– Наш власний робот?! Це неможливо! Абсурд! Такого ще ніколи не бувало! – протестують люди.

Директор просить тиші й похмуро відповідає:

– Я боявся, що хтось про це запитає, тож мушу всіх застерегти: це дуже важливе питання, і воно має залишатись суворо конфіденційним. Інформація не повинна вийти за межі цієї кімнати, доки ми не підготуємо власний прес-реліз. Так, тріщину справді зробив один із наших роботів, що раптом вийшов з-під контролю.

У залі зчиняється справжній рейвах. Люди не ймуть віри. Як таке можливо?

– Досі наші роботи поводитися бездоганно, – пояснює директор. – Абсолютно бездоганно. Жодний робот іще ніколи не завдав жодної шкоди, ніколи. Їхні запобіжні механізми багаторазово доводили свою ефективність. Це справді так. Але, як вам відомо, для останнього покоління наших роботів використано квантові комп'ютери – найпотужніші з усіх можливих на сьогодні; інтелект цих роботів уже наближається до людського. Так, до людського інтелекту. А у квантовій теорії завжди залишається якась невеличка, однак реальна ймовірність, що щось піде не так. У конкретному випадку робот просто зшаленів.

Ви безсило опускаєтесь на стілець, приголомшені новиною.

## **ЗНОВУ ВДОМА**

День був важкий – спочатку треба було організувати ремонтну бригаду роботів, щоб зупинити течу в греблі, потім допомогти вимкнути всіх експериментальних роботів, що містять квантові комп'ютери, принаймні на час, доки проблему не врегулюють. Нарешті ви повертаєтесь додому. Ви втомлені. Щойно ви зручно вмостились на канапі, на екрані з'являється Моллі.

– Джоне, для тебе є термінове повідомлення від доктора Брауна.

Доктора Брауна? Цікаво, що хоче сказати роботизований лікар?

– Постав його на екран, – кажете ви Моллі. На настінному екрані з'являється ваш лікар. “Доктор Браун” настільки реалістичний, що іноді ви забуваєте, що це лише комп'ютерна програма.

– Вибач, що турбую тебе, Джоне, але мушу звернути твою увагу на одну річ. Пам'ятаєш торішній нещасний випадок на лижах, коли ти мало не загинув?

Хіба таке можна забути? У вас досі мороз іде шкірою від згадки, як ви тоді врізались у дерево, катаючись на лижах в Альпах. Оскільки сніг в Альпах уже здебільшого розтав, вам довелося їхати на новий високогірний курорт. Місцевість була незнайома, і ви ненароком покотилися з пагорба й налетіли на дерево на швидкості сорок миль за годину. Ох!

Доктор Браун продовжує:

– За мою інформацією ти тоді втратив свідомість, одержав струс мозку й серйозні внутрішні травми, але одяг урятував тобі життя.

Доки ви були непритомні, ваш одяг автоматично викликав швидку, переслав ваші медичні дані й визначив ваші точні координати. Потім, у лікарні, роботи зробили вам мікрохірургічну операцію, зупинили кровотечу, зшили розірвані кровоносні судини й полікували інші травми.

– Твій шлунок, печінка й кишківник були дуже сильно ушкоджені, й відновити їх було неможливо, – нагадує доктор Браун. – На щастя, ми встигли виростити для тебе новий набір органів.

Раптом у вас з'являється відчуття, що ви теж трошки робот – адже стільки ваших внутрішніх органів вирощено штучно.

– Знаєш, Джоне, я маю також інформацію, що ти тоді міг замінити свою розтрощену руку цілковито механічною. Роботизована рука найновішої моделі збільшила б твою силу в п'ять разів. Але ти відмовився.

– Так, – відказуєте ви. – Мабуть, я дуже старомодний. Як на мене, живе тіло завжди краще за сталь.

– Джоне, твої нові органи треба періодично перевіряти. Візьми, будь ласка, МРТ-сканер і повільно проведи ним уздовж живота.

Ви йдете до ванної кімнати, берете невеличкий пристрій, завбільшки приблизно як мобільний телефон, і повільно проводите ним уздовж живота. На настінному екрані відразу з'являється тривимірне зображення ваших внутрішніх органів.

– Джоне, зараз ми проаналізуємо ці зображення й побачимо, як іде одужання. До речі, сьогодні вранці ДНК-сенсори в ванній виявили в тебе в підшлунковій залозі рак.

– Рак?

Ви різко випростовуєтесь. Ви спантеличені.

– Але я думав, що рак здолали багато років тому. Про нього вже ніхто й не згадує. Як у мене може бути рак?

– Насправді науковцям так і не вдалося здолати рак. Скажімо так: зараз у нас із раком перемир'я, патова ситуація. Різновидів раку надто багато. Приблизно як різновидів застуди. Застуду ми теж, до речі, не навчилися лікувати. Ми просто тримаємо її під контролем. Я замовив наночастинки, щоб убити ці ракові клітини. Їх там лише кількасот. Проста процедура. Але без неї ти, ймовірно, вмер би десь так років через сім, – незворушно каже лікар.

“Втішна інформація”, – думаєте ви.

– Сьогодні ми вміємо виявляти рак за багато років до того, як утвориться пухлина, – каже доктор Браун.

– Пухлина? А що це таке?

– А, та це давній термін для деяких типів раку на пізній стадії. Це слово майже вийшло з ужитку. Ми з таким більше не стикаємось, – додає доктор Браун.

І тут ви раптом згадуєте, що сестра грозилася з кимось вас познайомити. За всією метушнюю ви зовсім про це забули. Ви знову викликаєте Моллі.

– Моллі, у цю неділю я вільний, можеш влаштувати мені з кимось побачення? Ти знаєш, які жінки мені подобаються.

– Так, твої смаки зберігаються у мене в пам'яті. Зачекай хвилю, я пошукаю в інтернеті. – Незабаром на екрані з'являються профілі потенційних кандидаток, які в цю мить теж сидять перед своїми настінними екранами і ставлять те саме питання.

Переглянувши кандидатури, ви зрештою обираєте одну, яка сподобалась вам найбільше. У цій жінці, на ім'я Керен, є щось особливе, думаєте ви.

– Моллі, надішли Керен ввічливого листа й запитай, чи вільна вона в цю неділю. Є один новий ресторан, який шойно відкрився, і я хочу туди піти.

Моллі надсилає Керен відеопоштою інформацію про вас.

Цього вечора до вас приходять колеги, щоб разом випити пива й подивитися футбольний матч. Друзі могли б і не приходити, а просто з'явитись у вашій вітальні як голографічні зображення, але чомусь вболівати за місцеву команду приємніше, коли ви справді перебуваєте разом. Ви усміхаєтесь, думаючи, що так воно, мабуть, було тисячі років тому: печерні люди збиралися разом і між ними виникали дружні почуття.

Ураз уся вітальня освітлюється, і складається враження, що ви стоїте просто на футбольному полі, на 50-ярдовій лінії. Зовсім поряд із вами квотербек передає м'яч уперед. Гра відбувається докола вас.

Під час перерви ви з друзями починаєте обговорювати гравців. За пивом і попкорном ви запекло сперечаєтесь, хто з футболістів найбільше тренується, хто має найкращих тренерів і найкращого спеціаліста з генної терапії. Усі погоджуються, що ваша місцева команда має найкращого генетика в усій лізі й найкращі гени, які тільки можна купити за гроші.

Друзі розходяться, але ви занадто збуджені, щоб лягати спати. Тож ви вирішуєте перед сном ще пограти у покер.

– Моллі, я знаю, вже пізно, але я хочу пограти в покер. Мені сьогодні щастить. Є ж, мабуть, люди, які зараз не сплять – десь в Англії, Китаї, Індії чи Росії, – й не проти зіграти кілька партій.

– Жодних проблем, – каже Моллі. На екрані з'являється кілька привітних облич. Коли в кімнаті виникають тривимірні образи кожного з гравців, ви тішитесь, що зараз побачите, хто з них найкраще вміє блефувати. Дивно, кажете ви собі, ви краще знаєте людей із далеких країн, що за тисячі миль від вас, ніж найближчих сусідів. Державні кордони сьогодні майже не мають значення.

Нарешті, коли ви вже збираєтесь спати, Моллі з'являється знову – цього разу в дзеркалі у ванній.

– Джоне, Керен прийняла твоє запрошення. Все домовлено на цю неділю. Я замовлю столик у тому новому ресторані. Хочеш подивитися її профіль? Хочеш, я перевірю в інтернеті, чи вона там написала правду? Відомо ж, що люди іноді... брешуть про себе.

– Ні, – кажете ви. – Нехай це буде сюрпризом на неділю. – Після покеру вам знову здається, що зараз вам щастить.

## ВИХІДНІ

Настала субота, час купити подарунок для Кевіна.

– Моллі, постав на екран торговий центр.

На екрані вмить з'являється торговий центр. Рухаючи руками й пальцями, ви здійснюєте віртуальну екскурсію торговим центром і нарешті потрапляєте в магазин іграшок. Так, вони тут мають саме такого робота-песика, який вам потрібний. Ви телепатично наказуєте автомобілеві відвезти вас до того торгового центру. (Ви могли б замовити цю іграшку й через інтернет. Або ж попросити, щоб вам вислали електронною поштою її креслення, і ваш фабрикант виготовив би робота-песика з програмованої матерії просто у вас вдома.)

Але корисно час до часу виходити з помешкання й купувати щось по-справжньому.)

Їдучи в магнітному авті, ви розглядаєтесь навколо й бачите, як люди прогулюються вулицями. Сьогодні така гарна погода. Ви бачите також різноманітних роботів. Роботи, що вигулюють собак. Роботи-продавці, роботи-кухарі, роботи-адміністратори і роботи-домашні тваринки. Схоже, що всі завдання, які є небезпечними, монотонними або ж вимагають тільки найпростішого спілкування, тепер можуть виконувати роботи. Щобільше, роботи – це сьогодні великий бізнес. Куди не кинь оком, усюди висять оголошення: потрібні фахівці, що вміють ремонтувати, обслуговувати, модифікувати чи конструювати роботів. Усяк, хто працює в сфері робототехніки, має блискучі перспективи. Індустрія роботів тепер потужніша за автомобільну індустрію минулого сторіччя. До того ж, думаєте ви, більшість роботів приховано з очей: вони беззвучно забезпечують функціонування міської інфраструктури.

На вході до магазину іграшок вас вітає продавець-робот:

– Вам щось підказати?

– Я хочу купити робота-песика.

Ви розглядаєте найновіші моделі роботів-собак. Дивовижно, скільки всього вміють робити ці роботи, думаєте ви. Вони вміють бавитись, бігати, приносити кинутий предмет – практично все, що робить справжній пес. Лише не цюняють на килим. Мабуть, саме тому батьки купують їх дітяхам, міркуєте ви.

Тоді ви звертаєтесь до продавця-робота:

– Я хочу купити робота-песика для шестирічного племінника. Він дуже розумний і активний хлопчик. Але іноді буває сором'язливим і тихим. Яка модель песика могла б допомогти йому вийти зі своєї мушлі?

Робот відповідає:

– Вибачте, пане. У моїй програмі такого не передбачено. Можливо, вас зацікавлять космічні іграшки?

Ви зовсім забули, що роботам – навіть найдосконалішим – ще дуже далеко до розуміння людської поведінки.

Згодом ви прямуєте у відділ чоловічого одягу. Час нарешті скинути це старе лахміття й купити щось пристойне – якщо ви хочете справити враження на майбутню подругу. Ви приміряєте кілька дизайнерських костюмів. Усі виглядають стильно, але жодний не пасує за розміром. Ви розчаровані. Але за мить витягаєте кредитну картку,

яка містить усі ваші мірки. Ваші дані вводять у комп'ютер – і ось на фабриці вже кроять новий костюм, який незабаром доставлять до вас додому. Пасуватиме ідеально, як завжди.

Насамкінець ви заходите до супермаркету. Скануєте чіпи, що сховані в кожній пластиковій упаковці, й порівнюєте в контактних лінзах ціни і якість продуктів у різних крамницях міста. Сьогодні вже ніхто не мусить вгадувати, де ту чи іншу річ можна купити найдешевше.

## ПОБАЧЕННЯ

Ви чекали цього дня цілий тиждень. Готуючись до знайомства з Керен, ви знову хвилюєтесь, як школяр, – навіть дивно. Постановляєте: якщо ви збираєтесь запросити її після вечері додому, то треба серйозно оновити меблі. На щастя, більшість меблів у кухні й вітальні зроблено з програмованої матерії.

– Моллі, – просите ви, – покажи мені, будь ласка, каталог нових меблів від виробника для кухні й вітальні. Я хочу дещо перепрограмувати. Все на вигляд таке старе!

Незабаром на екрані з'являються найновіші моделі меблевих гарнітурів.

– Моллі, будь ласка, завантаж креслення цієї кухні, цієї канапи й цього стола, а тоді інсталюй їх, будь ласка.

Доки ви збираєтесь на побачення, Моллі завантажує креслення й інсталює нові меблі. Кухонна стінка, канапа у вітальні й стіл відразу починають розчинятися, перетворюючись на безформну масу, з якої поступово утворюються нові меблі. За якусь годину ваше помешкання виглядає як нове. (Недавно ви проглядали сайти з нерухомістю й зауважили, що в моду входять будинки з програмованої матерії. Щобільше, ваша інженерна компанія має амбітні плани побудувати в пустелі ціле місто повністю з програмованої матерії. Натискаєш кнопку, і – бах! – з'являється місто.)

А помешкання все одно виглядає трохи обшарпанним, думаєте ви. Змахуєте рукою – і шпалери вмить змінюють візерунок і колір. “Розумні” шпалери – це, звісно, краще, ніж щоразу перефарбовувати стіни, кажете ви собі.

Дорогою ви купуєте квіти й нарешті зустрічаєтесь з Керен. Ви приємно здивовані. Між вами відразу виникає взаємна симпатія. Усе йде як по маслу.



За вечерею ви дізнаєтесь, що Керен – художниця. Раніше, жартує вона, у неї були б усі шанси сидіти без грошей, голодувати й продавати свої картини на вулицях за безцінь. А нині вона дуже успішний веб-дизайнер. Щобільше, вона має власну компанію. Схоже, сьогодні кожен хоче мати найсучасніший дизайн для Мережі. Попит на мистецтво просто шалений!

Керен креслить пальцями в повітрі кола, і на їхньому місці з'являється кілька її анімаційних робіт.

– Ось деякі з моїх останніх творинь, – гордо каже вона.

– Знаєш, я інженер, – відказуєте ви, – і весь час працюю з роботами. Деякі з них доволі тямущі, але навіть вони можуть іноді втнути дурницю. А як у твоїй сфері? Роботи не відбирають у тебе хліб?

– Зовсім ні, – запевняє Керен. Вона працює суто з творчими людьми, бо найважливіше в її роботі – це уява; цього не мають навіть найдосконаліші роботи.

– Можливо, я старомодна, але в моїй сфері роботів використовують тільки щоб робити копії або для секретарських функцій, – каже вона гордо. – Хотіла б я побачити, як роботи навчаться робити щось справді оригінальне – вигадувати анекдоти, писати романи або складати симфонії.

Досі такого не бувало, але в майбутньому – хтозна, думаєте ви.

Доки Керен говорить, у вас раптом виникає запитання. Скільки їй років? Оскільки процес старіння почали сповільнювати медичним способом багато років тому, сьогодні складно визначити з вигляду людини, скільки їй років. На веб-сайті Керен її вік не зазначений. А виглядає вона років на двадцять п'ять, не більше.

Провівши Керен додому, ви знічев'я починаєте мріяти. Цікаво, як би це було – жити з такою людиною, як вона? Провести з нею всю решту життя? Але щось вас непокоїть. Щось муляє вас цілий день.

Ви повертаєтесь обличчям до настінного екрану й кажете:

– Моллі, виклич, будь ласка, доктора Брауна. – Раптом вас огортає вдячність за те, що роботизовані лікарі завжди відразу з'являються на виклик – у будь-який час дня чи ночі. І ніколи не нарікають і не скиглять. Вони на це не запрограмовані.

На екрані вмиг з'являється доктор Браун.

– Тебе щось непокоїть, синку? – з батьківською турботою запитує він.

– Я хочу запитати тебе про щось, що останнім часом не дає мені спокою.

– Що ж це таке?

– Лікарю, скільки, на твою думку, я проживу?

– Ти маєш на увазі, яка твоя середня тривалість життя? Насправді нам це не відомо. Згідно з документами, тобі сімдесят два роки, але біологічно стан твоїх органів відповідає радше тридцятирічному вікові. Ти належиш до першого покоління, яке перепрограмували на генетичному рівні на довше життя. Ти вирішив зупинити старіння приблизно в тридцятирічному віці. З твого покоління ще мало хто вмер, тож ми просто не маємо даних для опрацювання. Немає способу визначити, скільки ти проживеш.

– То ти думаєш, що я житиму вічно? – запитуєте ви.

– І будеш безсмертним? – Доктор Браун насуплює брови. – Ні, я так не думаю. Є різниця між кимось, хто живе вічно, і кимось, чия тривалість життя така довга, що її ще не вдалося виміряти.

– Але якщо я не старію, – допитуєтесь ви, – то як я маю дізнатись, коли треба... – Ви змовкаєте на півслові. – Ну, добре... Розумієш, я зустрів когось... когось особливого... і якщо я захочу з нею жити, то як мені узгодити свої життєві етапи з її? Якщо моє покоління ще прожило недостатньо довго, щоб умирати, – ведете далі ви, – то звідки я маю знати, коли варто одружуватись, заводити дітей чи йти на пенсію? Розумієш, про що мені йдеться, – як я маю визначати якісь віхи в своєму житті?

– На це питання я не знаю відповіді. Бач, сьогодні людство перебуває в ролі піддослідного кролика, в якомусь сенсі, – каже доктор Браун. – Вибач, Джоне. Тут тобі доведеться діяти навмання.

## НАСТУПНІ КІЛЬКА МІСЯЦІВ

Наступні кілька місяців стають для вас із Керен чудовим сюрпризом. Ви йдете з нею в центр віртуальної реальності й розважаєтесь там, опиняючись у різних фантастичних світах. Це так, ніби ви повернулися в дитинство. Ви заходите у вільний кабінет. Комп'ютерна програма транслюється у ваші контактні лінзи – і світ навколо вас умить змінюється. В одній програмі ви втікаєте від динозаврів, але хоч куди б ви побігли, всюди з кущів перед вами вистрибує новий динозавр. В іншій програмі ви б'єтесь з інопланетянами чи з піратами, що намагаються захопити ваш корабель. Ще в одній програмі ви перетворюєтесь на двох орлів і ширяєте високо в небі. А ще в

одній – ніжитесь на пляжі якогось романтичного південного острова або танцюєте в місячному сяйві під м'яку, спокійну музику.

За якийсь час вам із Керен хочеться спробувати чогось нового. Замість того, щоб жити уявним життям у віртуальному світі, ви тепер волієте жити по-справжньому. Тож коли ваші відпустки збігаються в часі, ви вирішуєте здійснити тур Європою.

Ви звертаєтесь до настінного екрану:

– Моллі, ми з Керен хочемо провести відпустку в Європі. По-справжньому. Підшукай, будь ласка, авіарейси, готелі, подивись, може, є якісь спеціальні пропозиції. Тоді склади перелік визначних місць і подій, що можуть бути для нас цікавими. Ти знаєш наші смаки.

За кілька хвилин відпустку сплановано до найменших деталей.

Пізніше, прогулюючись поміж руїн Римського Форуму, ви бачите в контактних лінзах Римську імперію такою, як вона виглядала в давнину. Проходячи повз понищені колони, каміння й дрібні уламки, ви споглядаєте імператорський Рим у всій його минулій величі.

Ходити по покупки – теж суцільне задоволення, навіть попри те, що в місцевих крамничках доводиться торгуватись італійською мовою. У контактних лінзах ви бачите переклад усього, що каже співрозмовник. Більше жодних путівників і складних карт. Усе в контактних лінзах.

Увечері, вдивляючись у небо над Римом, ви чітко бачите в контактних лінзах контури сузір'їв. А ще ви споглядаєте у збільшеному вигляді кільця Сатурна, комети, прегарні газові хмари й вибухи зірок.

Одного дня Керен нарешті відкриває вам таємницю – зізнається, скільки їй насправді років. Виявляється, шістдесят один. Тепер це чомусь уже не так важливо.

– Скажи, Керен, ти щасливіша тепер, коли ми живемо так довго?

– Так, так! – відповідає вона, не замислюючись. – Знаєш, моя бабуся жила в ті часи, коли жінки виходили заміж, народжували дітей та іноді ще намагалися зробити сяку-таку кар'єру. А мені подобається думати, що я тричі перевтілювалась – адже я мала три професії – й ніколи не озиралась назад. Спочатку я була гідом – возила туристів по кількох країнах, подорожувала світом. Це було чудове життя. Туризм – величезна індустрія, там маса робочих місць. Але пізніше мені схотілося робити щось серйозніше. І я стала адвокатом – почала захищати людей, доля яких була мені небайдужа. А потім я вирішила розвивати свої мистецькі здібності і створила компанію веб-дизайну. І знаєш що? Я пишаюся тим, що ніколи не використовувала робо-

тів. Жодний робот не може ані бути персональним гідом, ані виграти справу в суді, ані створити витвір мистецтва.

Час покаже, думаєте ви.

– А четверту професію ти не плануєш? – запитуєте ви.

– Чому ні? Усе можливо. Якщо трапиться щось краще, – усміхається вона.

– Керен, – нарешті зважуєтесь ви, – якщо ми не старіємо, то як нам знати, коли найкраще... ну, розумієш... одружуватись, народжувати дітей, створювати сім'ю? Біологічний годинник вимкнувся давним-давно. Тож я подумав: може, саме час споважніти і створити родину?

– Ти маєш на увазі дітей? – Керен трохи здивована. – Я про це ніколи серйозно не думала. Тобто досі не думала. Все залежить від того, чи трапиться мені пристойний чоловік, – каже вона, хитро всміхаючись.

Пізніше ви з Керен розмовляєте про одруження й про те, як ви назвете свого малюка, а також – які гени ви б хотіли йому дати.

Ви підходите до настінного екрану й кажете:

– Моллі, можеш знайти мені найновіший перелік генів, що їх схвалив уряд?

Ви проглядаєте перелік генів і бачите там різноманітні гени для кольору волосся, очей, зросту, статури і навіть для деяких рис характеру. Здається, що з кожним роком цей перелік стає довшим. Ви також бачите довгий перелік спадкових хвороб, яких можна позбутися. У вашій родині впродовж багатьох сторіч траплялись випадки муковісцидозу, і це велике щастя, що сьогодні можна більше цього не боятися.

Вивчаючи перелік схвалених генів, ви відчуваєте не просто майбутнім батьком, а майже богом, що створює дитину за своїм образом і подобою.

Тоді Моллі каже:

– Є програма, яка може проаналізувати ДНК дитини й визначити, яке у неї приблизно буде обличчя, тілобудова й характер. Хочеш завантажити цю програму й побачити, як твоя дитина виглядатиме в майбутньому?

– Ні, – відповідаєте ви. – Щось мусить залишатись таємницею.

## ЧЕРЕЗ РІК

Керен вагітна, але лікарі запевняють, що поїздка на космічному ліфті, який нещодавно відкрили для туристів, буде для неї цілком безпечна.

– Знаєш, Керен, – кажете ви, – в дитинстві я завжди хотів полетіти в космос. Я мріяв стати астронавтом. Але одного разу я уявив, як воно – сидіти поверх мільйонів галонів леткого ракетного палива, яке може вибухнути від найменшої іскри. Тоді моє завзяття до космічних польотів трохи зменшилось. Але космічний ліфт – це зовсім інше. Чисто, безпечно, жодних сюрпризів. Ось так треба їздити в космос.

Ви з Керен заходите в ліфт і бачите, як оператор натискає на щось схоже на кнопку “догори”. Ви вже майже готові побачити відділ жіночої білизни, що в супермаркетах зазвичай розташований на верхніх поверхах. Натомість же ви відчуваєте, як ліфт злітає вгору, поступово набираючи швидкість. На табло з’являються цифри: 10 миль, 20 миль, 30 миль...

Ви бачите, як вид ззовні змінюється – щосекунди. Зараз ви ще дивитесь на пухнасті хмари. А вже за мить небо з синього стає пурпуровим, потім чорним – і ось нарешті вас зусібіч оточують зірки у всій своїй неповторній величі. Ви починаєте розрізняти вдалині знайомі сузір’я – такими ви їх іще ніколи не бачили. Зірки не мерехтять, як здається з Землі, а яскраво світяться – як світилися впродовж мільярдів років.

Ліфт поволі зупиняється – приблизно за 100 миль від поверхні Землі. З космосу вам відкривається приголомшлива картина, яку раніше ви бачили хіба що на фотографіях.

Дивлячись униз, ви раптом бачите Землю в абсолютно новому світлі. Ви бачите океани, континенти й вогні мегаполісів, які видно навіть із космосу.

Звідси Земля здається такою урочисто-спокійною, що важко повірити, що колись люди воювали й проливали кров через якісь дурні державні кордони. Держави наразі ще існують, але сьогодні вони здаються чудернацькими старомодними утвореннями і вже не мають великого значення – в епоху миттєвої і повсюдної комунікації.

Керен схиляє голову вам на плече – і ви раптом усвідомлюєте, що в цей час народжується нова планетарна цивілізація. І ваша дитина буде в числі перших громадян цієї нової цивілізації.

І тоді ви витягаєте з кишені стару потерту книжку й читаєте Керен слова людини, що померла понад 100 років тому. Вони нагадують вам про ті перешкоди, що їх мусить здолати людство, аби стати планетарною цивілізацією.

Магатма Ганді колись написав:

*Корені насильства:*

*багатство без праці,  
задоволення без совісті,  
знання без характеру,  
бізнес без моралі,  
наука без людяності,  
молитва без жертви,  
політика без принципів.<sup>1</sup>*

Керен схиляє голову вам на плече – і ви раптом усвідомлюєте, що в цей час народжується нова планетарна цивілізація. І ваша дитина буде в числі перших громадян цієї нової цивілізації.

І тоді ви витягаєте з кишені стару потерту книжку й читаєте Керен слова людини, що померла понад 100 років тому. Вони нагадують вам про ті перешкоди, що їх мусить здолати людство, аби стати планетарною цивілізацією.

Магатма Ганді колись написав:

*Корені насильства:*

*багатство без праці,  
задоволення без совісті,  
знання без характеру,  
бізнес без моралі,  
наука без людяності,  
молитва без жертви,  
політика без принципів.<sup>1</sup>*

# ПРИМІТКИ

## ВСТУП

1. Rhodes, Richard, ed. *Visions of Technology: A Century of Vital Debate About Machines, Systems, and the Human World*. New York: Simon & Schuster, 1999, pp. 29–30.
2. [www.learner.org/workshops/primarysources/corporations/docs/](http://www.learner.org/workshops/primarysources/corporations/docs/).
3. Canton, James. *The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World for the Next 5, 10, and 20 Years*. New York: Dutton, 2006, p. 247.
4. Canton, James. *The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World for the Next 5, 10, and 20 Years*. New York: Dutton, 2006, p. 247.
5. Canton, James. *The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World for the Next 5, 10, and 20 Years*. New York: Dutton, 2006, p. 247.
6. Cornish, Edward, ed. *Futuring: The Exploration of the Future*. Bethesda, MD: World Future Society, 2004, p. 149. Див також: “The Facts that Got Away,” *New York Times*, November 14, 2001.

## 1. МАЙБУТНЄ КОМП'ЮТЕРА

1. *Popular Mechanics*, цит. з: Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 56. Див також: Andrew Hamilton, “Brains That Click,” *Popular Mechanics*, March 1940, p. 258.
2. Rhodes, Richard, ed. *Visions of Technology: A Century of Vital Debate About Machines, Systems, and the Human World*. New York: Simon & Schuster, 1999, p. 206.
3. Babak A. Parvie, “Augmented Reality in a Contact Lens,” *IEEE Spectrum*, September 2009, <http://www.learner.org/workshops/primarysources/index.html>.
4. Gary Stix, “Jacking into the Brain – Is the Brain the Ultimate Computer Interface?” *Scientific American*, November 2008, pp. 56–61.
5. Jeff Wise, “Thought Police: How Brain Scans Could Invade Your Private Life,” *Popular Mechanics*, October 15, 2007, [www.popularmechanics.com/science/health/neuroscience/4226614](http://www.popularmechanics.com/science/health/neuroscience/4226614).
6. *New Scientist*, October 15, 2008, issue 2678.
7. David Baltimore, “How Biology Became Information Science,” in Denning, pp. 53–54.



8. Там само, p. 54.

9. Bernhard Blümich, "The Incredible Shrinking Scanner: MRI-like Machine Becomes Portable," *Scientific American*, November 2008, p. 68.

## 2. МАЙБУТНЄ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

1. John Markoff, *New York Times*, July 25, 2009, p. A1, [www.nytimes.com/2009/07/26/science/26robot.html?scp=1&sq=Scientists Worry Machines May Outsmart Man&st=cse](http://www.nytimes.com/2009/07/26/science/26robot.html?scp=1&sq=Scientists Worry Machines May Outsmart Man&st=cse).

2. Там само.

3. Кайку, Мічію. *Візії: як наука змінить світ XXI сторіччя*. Львів: Літопис, 2004, с. 115.

4. Crevier, Daniel. *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*. New York: Basic Books, 1993, p. 109.

5. Paul W. Abrahams, "A World Without Work," in Denning and Metcalfe, p. 136.

6. Richard Strozzi Heckler, "Somatics in Cyberspace," in Denning, p. 281.

7. Sheffield, Charles, Marcelo Alonso, and Morton A. Kaplan, eds. *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. St. Paul, MN: Paragon House, 1994, p. 30.

8. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 267.

9. *World Robotics 2007*, IFR Statistical Department (Frankfurt: International Federation of Robotics, 2007).

10. Fred Hapgood, "Reverse Engineering the Brain," *Technology Review*, July 11, 2006, <http://neuro.psychiatryonline.org/article.aspx?articleid=100274>.

11. John M. Harlow, M.D., "Passage of an Iron Rod Through the Head," *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences* 11, May 1999, pp. 281–83, [www.neuro.psychiatryonline.org/cgi/content/full/11/2/281](http://www.neuro.psychiatryonline.org/cgi/content/full/11/2/281).

12. Jonathan Fildes, "Artificial Brain '10 Years Away'", BBC News, July 22, 2009, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8164060.stm>.

13. Jason Palmer, "Simulated Brain Closer to Thought," BBC News, April 22, 2009, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/sci/tech/8012496.stm>.

14. Douglas Fox, "IBM Reveals the Biggest Artificial Brain of All Time," *Popular Mechanics*, December 18, 2009, [www.popularmechanics.com/technology/engineering/extreme-machines/4337190](http://www.popularmechanics.com/technology/engineering/extreme-machines/4337190).

15. Sally Adee, "Reverse Engineering the Brain," *IEEE Spectrum*, June 2008, <http://spectrum.ieee.org/biomedical/ethics/reverse-engineering-the-brain/0>.

16. Vernor Vinge, "What Is the Singularity?" paper presented at the VISION-21 Symposium sponsored by NASA Lewis Research Center and the Ohio Aerospace Institute, March 30–31, 1993. Дещо змінена версія вийшла у: *Whole Earth Review*, Winter 1993, <http://mindstalk.net/vinge/vinge-sing.html>.

17. Tom Abate, "Smarter Than Thou? Stanford Conference Ponders a Brave New World with Machines More Powerful Than Their Creators," *San Francisco Chronicle*, May 12, 2006, <http://www.sfgate.com/business/article/Smarter-than-thou-Stanford-conference-ponders-2497190.php>.
18. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 376.
19. <http://consc.net/mindpapers/>.
20. Sheffield, Charles, Marcelo Alonso, and Morton A. Kaplan, eds. *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. St. Paul, MN: Paragon House, 1994, p. 38.
21. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 10.
22. Abate, *San Francisco Chronicle*, May 12, 2006.
23. Brian O'Keefe, "The Smartest (or the Nuttiest) Futurist on Earth," *Fortune*, May 2, 2007, [http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune\\_archive/2007/05/14/100008848/](http://money.cnn.com/magazines/fortune/fortune_archive/2007/05/14/100008848/).
24. Greg Ross, "An Interview with Douglas R. Hofstadter," *American Scientist*, January 2007, [www.americanscientist.org/bookshelf/pub/douglas-r-hofstadter](http://www.americanscientist.org/bookshelf/pub/douglas-r-hofstadter).
25. P. W. Singer, "Gaming the Robot Revolution," *Slate*, May 21, 2009, [www.slate.com/id/2218834/](http://www.slate.com/id/2218834/).
26. Rodney A. Brooks, "Making Living Systems," in John Brockman, ed., *Science at the Edge: Conversations with the Leading Scientific Thinkers of Today* (New York: Sterling, 2008), p. 250.
27. Rodney A. Brooks, "Flesh and Machines," in Denning, p. 63.
28. Pam Belluck, "Burst of Technology Helps Blind to See," *New York Times*, September 27, 2009, p. A1, [www.nytimes.com/2009/09/27/health/research/27eye.html?\\_r=1&scp=1&sq='burst of technology'&st=cse](http://www.nytimes.com/2009/09/27/health/research/27eye.html?_r=1&scp=1&sq='burst of technology'&st=cse).
29. BBC-TV, October 18, 2009.
30. Rodney A. Brooks, "The Merger of Flesh and Machines," in John Brockman, ed., *The Next Fifty Years* (New York: Vintage, 2002), p. 189.
31. Там само, pp. 191–192.
32. Stock, Gregory. *Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future*. Boston: Houghton Mifflin, 2003, p. 23.

### 3. МАЙБУТНЄ МЕДИЦИНИ

1. David Baltimore, "How Biology Became an Information Science," in Denning, p. 43.
2. Nicholas Wade, "Cost of Decoding a Genome Is Lowered," *New York Times*, August 10, 2009, p. D3, [www.nytimes.com/2009/08/11/science/11gene.html](http://www.nytimes.com/2009/08/11/science/11gene.html).

3. Jeanne Lenzer, "Have We Entered the Stem Cell Era?" *Discover*, November 2009, p. 33, [http://discovermagazine.com/2009/nov/14-have-we-entered-the-stem-cell-era/article\\_view?b\\_start:int=1&-C=](http://discovermagazine.com/2009/nov/14-have-we-entered-the-stem-cell-era/article_view?b_start:int=1&-C=).
4. Там само.
5. Stock, Gregory. *Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future*. Boston: Houghton Mifflin, 2003, p. 5.
6. Там само, с. 36.
7. Kate Kelland, "Gene Maps to Transform Scientists' Work on Cancer," Reuters, December 18, 2009.
8. David Baltimore, "How Biology Became an Information Science," in Denning, p. 54.
9. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 195.
10. Stock, Gregory. *Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future*. Boston: Houghton Mifflin, 2003, p. 108.
11. Jonah Lehrer, "Small, Furry ... and Smart?" *Nature* 461 (October 2009): 864.
12. Там само.
13. Jonah Lehrer, "Smart Mice," *The Frontal Cortex*, October 15, 2009, [http://scienceblogs.com/cortex/2009/10/smart\\_mice.php](http://scienceblogs.com/cortex/2009/10/smart_mice.php).
14. Sheffield, Charles, Marcelo Alonso, and Morton A. Kaplan, eds. *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. St. Paul, MN: Paragon House, 1994, p. 107.
15. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 320.
16. Кайку, Мічію. *Візії: як наука змінить світ XXI сторіччя*. Львів: Літопис, 2004, с. 300.
17. Nicholas Wade, "Tests Begin on Drugs That May Slow Aging," *New York Times*, August 17, 2009, p. D4, [www.nytimes.com/2009/08/18/science/18aging.html?ref=caloric\\_restriction](http://www.nytimes.com/2009/08/18/science/18aging.html?ref=caloric_restriction).
18. Nicholas Wade, "Quest for a Long Life Gains Scientific Respect," *New York Times*, September 29, 2009, p. D4, [www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric\\_restriction](http://www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric_restriction).
19. Nicholas Wade, "Scientists Find Clues to Aging in a Red Wine Ingredient's Role in Activating a Protein," *New York Times*, November 26, 2008, p. A30, [www.nytimes.com/2008/11/27/health/27aging.html?scp=6&sq=sinclair%20resveratrol&st=cse](http://www.nytimes.com/2008/11/27/health/27aging.html?scp=6&sq=sinclair%20resveratrol&st=cse).
20. Wade, "Quest for a Long Life," *New York Times*, September 28, 2009, p. D4, [www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric\\_restriction](http://www.nytimes.com/2009/09/29/science/29aging.html?ref=caloric_restriction).
21. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 253.
22. Stock, Gregory. *Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future*. Boston: Houghton Mifflin, 2003, p. 88.

23. Ciara Curtin, "Fact or Fiction?: Living People Outnumber the Dead," *Scientific American*, March 2007.
24. Brown, Lester. *Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization*. New York: Norton, 2009, p. 5.
25. Richard Dawkins, *A Devil's Chaplain: Reflections on Hope, Lies, Science, and Love* (New York: Houghton Mifflin Mariner, 2004), p. 113.
26. Katherine S. Pollard, "What Makes Us Human?" *Scientific American*, May 2009, p. 44.
27. Nicholas Wade, "Scientists in Germany Draft Neanderthal Genome," *New York Times*, February 12, 2009, p. A12, [www.nytimes.com/2009/02/13/science/13neanderthal.html?scp=3&sq=neanderthal&st=cse](http://www.nytimes.com/2009/02/13/science/13neanderthal.html?scp=3&sq=neanderthal&st=cse).
28. Там само.
29. Richard Dawkins, *A Devil's Chaplain: Reflections on Hope, Lies, Science, and Love* (New York: Houghton Mifflin Mariner, 2004), p. 114.
30. Kate Wong, "Scientists Sequence Half the Woolly Mammoth's Genome," *Scientific American*, January 2009, p. 26, [www.scientificamerican.com/article.cfm?id=woolly-mammoth-genome-sequenced](http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=woolly-mammoth-genome-sequenced).
31. Stock, Gregory. *Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future*. Boston: Houghton Mifflin, 2003, p. 183.

#### 4. МАЙБУТНЄ НАНОТЕХНОЛОГІЇ

1. Carl T. Hall, "Brave New Nano-World Lies Ahead," *San Francisco Chronicle*, July 19, 1999, <http://www.sfgate.com/science/article/Brave-New-Nano-World-Lies-Ahead-One-atom-at-a-2918337.php>.
2. Там само.
3. Цум.: Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 226.
4. James R. Heath, Mark E. Davis, and Leroy Hood, "Nanomedicine—Revolutionizing the Fight Against Cancer," *Scientific American*, February 2009, p. 44.
5. Emily Singer, "Stealthy Nanoparticles Attack Cancer Cells," *Technology Review*, November 4, 2009, <http://www.technologyreview.com/news/416130/stealthy-nanoparticles-attack-cancer-cells/>.
6. "Special Gold Nanoparticles Show Promise for 'Cooking' Cancer Cells," [www.eurekalert.org/pub\\_releases/2009-03/acs-sgn030909.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2009-03/acs-sgn030909.php).
7. Thomas E. Mallouk and Ayusman Sen, "How to Build Nanotech Motors," *Scientific American*, May 2009, p. 72.
8. Katherine Harmon, "Could a Microchip Help to Diagnose Cancer in Minutes," *Scientific American* blog post, September 28, 2009, <http://www.scientificamerican.com/blog/post.cfm?id=could-a-microchip-help-to-diagnose-2009-09-28>.

9. Electronic News, September 18, 2007.

10. *Electronic News*, July 13, 2004. Див. також: Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 112 та [www.nanotech-now.com/news.cgi?story\\_id=04803](http://www.nanotech-now.com/news.cgi?story_id=04803).

11. Alexis Madrigal, "Scientist Builds World's Smallest Transistor, Gordon Moore Sighs with Relief," *Wired*, [www.wired.com/wiredscience/2008/04/scientists-buil/](http://www.wired.com/wiredscience/2008/04/scientists-buil/).

12. Там само.

13. Vint Cerf, "One Is Glad to Be of Service," in Denning, p. 229.

14. Sharon Gaudin, "Intel Sees Future with Shape-shifting Robots, Wireless Power," *Computerworld*, August 22, 2008, [www.computerworld.com/s/article/9113301/Intel\\_sees\\_future\\_with\\_shape\\_shifting\\_robots\\_wireless\\_power-?taxonomyId=12&pageNumber=2](http://www.computerworld.com/s/article/9113301/Intel_sees_future_with_shape_shifting_robots_wireless_power-?taxonomyId=12&pageNumber=2).

15. Там само.

16. Там само.

17. Rudy Baum, "Nanotechnology: Drexler and Smalley Make the Case for and Against 'Molecular Assemblers,'" *Chemical & Engineering News* 81, December 1, 2003, pp. 37–42, <http://pubs.acs.org/cen/coverstory/8148/8148counterpoint.html>.

18. BBC/Discovery Channel, *Visions of the Future*, Part II, 2007.

19. Rodney A. Brooks, "Flesh and Machines," in Denning, p. 63.

## 5. МАЙБУТНЄ ЕНЕРГІЇ

1. Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005, p. 242.

2. [www.mkinghubbert.com/speech/prediction](http://www.mkinghubbert.com/speech/prediction).

3. Sheffield, Charles, Marcelo Alonso, and Morton A. Kaplan, eds. *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. St. Paul, MN: Paragon House, 1994, p. 179.

4. <http://www.gwec.net/?id=125>.

5. Tad Friend, "Plugged In," *The New Yorker*, August 24, 2009, pp. 50–59.

6. "GM Convinced the Future Is in Fuel Cells," CBS News, September 11, 2009, [www.cbsnews.com/stories/2009/09/11/tech/main5302610.shtml?tag=mncol;lst;6](http://www.cbsnews.com/stories/2009/09/11/tech/main5302610.shtml?tag=mncol;lst;6).

7. Business Wire, <http://www.businesswire.com/portal/site/home/>. Див. також: [www.swampfox.ws/node/26502](http://www.swampfox.ws/node/26502).

8. Brown, Lester. *Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization*. New York: Norton, 2009, p. 63.

9. Там само, p. 64.

10. Там само, p. 65.

11. Там само, pp. 56–57.

12. Peter Schwartz and Doug Randall, "An Abrupt Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security," Global Business Network, October 2003, p. 18. PDF доступний на <http://www.gbn.com/articles/pdfs/Abrupt%20Climate%20Change%20February%202004.pdf>.
13. Cornelia Dean, "Experts Ponder the Hazards of Using Technology to Save the Planet," *New York Times*, August 12, 2008, p. F4, [www.nytimes.com/2008/08/12/health/12iht-ethics.3.15212327.html?\\_r=1&scp=10&sq=planktos&st=cse](http://www.nytimes.com/2008/08/12/health/12iht-ethics.3.15212327.html?_r=1&scp=10&sq=planktos&st=cse).
14. Matthew L. Wald, "Refitted to Bury Emissions, Plant Draws Attention," *New York Times*, September 29, 2009, p. A19, [www.nytimes.com/2009/09/22/science/earth/22coal.html?ref=american\\_electric\\_power\\_company](http://www.nytimes.com/2009/09/22/science/earth/22coal.html?ref=american_electric_power_company).
15. J. Craig Venter, процитовано в: *Oil and the Future of Energy: Climate Repair, Hydrogen, Nuclear Fuel, Renewable and Green Sources, Energy Efficiency*, editors of Scientific American (Guilford, Conn.: Lyons Press, 2007), pp. 220–21. З виступу Вентера "Synthetic Genomics" на конференції з синтетичної біології (SB2.0), Берклі, Каліфорнія, 20 травня 2006 р.
16. Freeman J. Dyson, "Can We Control the Carbon Dioxide in the Atmosphere?" *Energy* 2 (1977): pp. 287–91.
17. Sheffield, Charles, Marcelo Alonso, and Morton A. Kaplan, eds. *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. St. Paul, MN: Paragon House, 1994, p. 158.
18. Ralph Lapp, quoted in "Peron's Atom," *Time*, April 2, 1951, [www.time.com/time/magazine/article/0,9171,814503,00.html](http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,814503,00.html).
19. Seife, Charles. *Sun in a Bottle: The Strange History of Fusion and the Science of Wishful Thinking*. New York: Viking Penguin, 2008, p. 76.
20. W. Wayt Gibbs, "Plan B for Energy: 8 Revolutionary Energy Sources," *Scientific American*, September 2006; передруковано: April 2, 2009, [www.scientificamerican.com/article.cfm?id=plan-b-for-energy-8-ideas](http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=plan-b-for-energy-8-ideas).
21. Там само.
22. Seife, Charles. *Sun in a Bottle: The Strange History of Fusion and the Science of Wishful Thinking*. New York: Viking Penguin, 2008, p. 211.
23. ITER, [www.iter.org/factsfigures](http://www.iter.org/factsfigures).
24. Gibbs, "Plan B," *Scientific American*, September 2006.
25. Editors of *Scientific American*, *Oil and the Future of Energy*, p. 217.
26. Ben Bova, "To the Next President" (оригінальна назва: "An Energy Fix Written in the Stars," guest editorial, *Washington Post*, October 12, 2008), [www.nss.org/settlement/ssp/bova.htm](http://www.nss.org/settlement/ssp/bova.htm).
27. *International Herald Tribune*, September 2, 2009, p. 14. Also see Shigeru Sato and Yuji Okada, "Mitsubishi, IHI to Join \$21 Bln Space Solar Project," August 31, 2009; [www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aJ529lsdk9HI](http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aJ529lsdk9HI).
28. Shigeru Sato and Yuji Okada, "Mitsubishi, IHI to Join \$21 Bln Space Solar Project," Bloomberg, August 31, 2009, [www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aJ529lsdk9HI](http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=aJ529lsdk9HI).

## 6. МАЙБУТНЄ КОСМІЧНИХ ПОДОРОЖЕЙ

1. [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/ast02feb99\\_1/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/1999/ast02feb99_1/).
2. <http://lcross.arc.nasa.gov>.
3. *New York Times*, September 16, 2010, p. A3.
4. Dyson, Freeman J. *The Sun, the Genome, and the Internet: Tools of Scientific Revolutions*. New York: Oxford University Press, 1999, pp. 88–99.
5. Katherine Bourzac, “Making Carbon Nanotubes into Long Fibers,” *Technology Review*, November 10, 2009, <http://www.technologyreview.com/news/416212/making-carbon-nanotubes-into-long-fibers/>.
6. BBC-TV, November 5, 2009.
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ikaros>.
8. Nicholas Dawidoff, “The Civil Heretic,” *New York Times*, March 25, 2009, [www.nytimes.com/2009/03/29/magazine/29Dyson-t.html?pagewanted=7&\\_r=1](http://www.nytimes.com/2009/03/29/magazine/29Dyson-t.html?pagewanted=7&_r=1).
9. Vint Cerf, “One Is Glad to Be of Service,” in Denning, pp. 229–30.
10. Scott A. Dickson, “Enabling Battlespace Persistent Surveillance: The Form, Function and Future of Smart Dust,” April 2007 (Blue Horizon Paper, Center for Strategy and Technology, Air War College).

## 7. МАЙБУТНЄ БАГАТСТВА

1. Umi Hani Sharani, “Muslims Almost Totally Dependent on Others, Says Mahathir,” Muslim Institute, April 15, 2006.
2. William J. Holstein, “To Gauge the Internet, Listen to the Steam Engine,” *New York Times*, August 26, 2001, <http://www.nytimes.com/2001/08/26/business/26SVAL.html?scp=1&sq=%22to%20gauge%20the%20internet%22&st=cse>.
3. Virginia Postrel, “Avoiding Previous Blunders,” *New York Times*, January 1, 2004, [www.nytimes.com/2004/01/01/business/01scene.html](http://www.nytimes.com/2004/01/01/business/01scene.html).
4. Там само.
5. Thomas L. Friedman, “Green the Bailout,” *New York Times*, September 28, 2008, p. WK11, [www.nytimes.com/2008/09/28/opinion/28friedman.html](http://www.nytimes.com/2008/09/28/opinion/28friedman.html).
6. Steve Lohr, “New Economy; Despite Its Epochal Name, the Clicks-and-Mortar Age May Be Quietly Assimilated,” *New York Times*, October 8, 2001, [www.nytimes.com/2001/10/08/business/new-economy-despite-its-epochal-name-clicks-mortar-age-may-be-quietly.html?scp=30&sq=automobile&st=nyt](http://www.nytimes.com/2001/10/08/business/new-economy-despite-its-epochal-name-clicks-mortar-age-may-be-quietly.html?scp=30&sq=automobile&st=nyt).
7. Там само.
8. Charles Gasparino, “Merrill Lynch to Offer Online Trading,” ZDNet News, June 1, 1999, [www.zdnet.com/news/merrill-lynch-to-offer-online-trading/95883](http://www.zdnet.com/news/merrill-lynch-to-offer-online-trading/95883).
9. Там само.
10. McRae, Hamish. *The World in 2020: Power, Culture, and Prosperity*. Cambridge, MA: Harvard Business School, 1995, p. 175.

11. Thurow, Lester C. *The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World*. New York: William Morrow, 1996, p. 68.
12. Там само, p. 74.
13. McRae, Hamish. *The World in 2020: Power, Culture, and Prosperity*. Cambridge, MA: Harvard Business School, 1995, p. 12.
14. Thurow, Lester C. *The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World*. New York: William Morrow, 1996, p. 67.
15. James Grant, "Sometimes the Economy Needs a Setback," *New York Times*, September 9, 2001, [www.nytimes.com/2001/09/09/opinion/sometimes-the-economy-needs-a-setback.html](http://www.nytimes.com/2001/09/09/opinion/sometimes-the-economy-needs-a-setback.html).
16. Thurow, Lester C. *The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World*. New York: William Morrow, 1996, p. 72.
17. McRae, Hamish. *The World in 2020: Power, Culture, and Prosperity*. Cambridge, MA: Harvard Business School, 1995, pp. 12–13.
18. Toffler, Alvin, and Heidi Toffler. *Revolutionary Wealth*. New York: Knopf, 2006, p. 288.

## 8. МАЙБУТНЄ ЛЮДСТВА

1. Kenichi Ohmae, *The End of the Nation State: The Rise of Regional Economies* (New York: Free Press, 1995), p. 45.
2. Benjamin Franklin, letter to Joseph Priestley, процитовано в: Cornish, p. 173.
3. <http://www.brainyquote.com/quotes/quotes/i/immanuelka163227.html>.
4. [http://www.brainyquote.com/quotes/topics/topic\\_science4.html](http://www.brainyquote.com/quotes/topics/topic_science4.html).
5. <http://www.brainyquote.com/quotes/keywords/democracy.html>.
6. [http://www.brainyquote.com/quotes/authors/g/george\\_bernard\\_shaw\\_2.htm](http://www.brainyquote.com/quotes/authors/g/george_bernard_shaw_2.htm).
7. Цум.: Rhodes, Richard, ed. *Visions of Technology: A Century of Vital Debate About Machines, Systems, and the Human World*. New York: Simon & Schuster, 1999, p. 61.

## 9. ОДИН ДЕНЬ У 2100 РОЦІ

1. [http://thinkexist.com/quotation/the\\_roots\\_of\\_violence-wealth\\_without\\_work/191301.html](http://thinkexist.com/quotation/the_roots_of_violence-wealth_without_work/191301.html).



# РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- Archer, David. *The Long Thaw: How Humans Are Changing the Next 100,000 Years of Earth's Climate*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2009.
- Bezold, Clement, ed. 2020 *Visions: Health Care Information Standards and Technologies*. Rockville, MD: United States Pharmacopeial Convention, 1993.
- Brockman, Max, ed. *What's Next? Dispatches on the Future of Science*. New York: Vintage, 2009.
- Broderick, Damien. *The Spike: How Our Lives Are Being Transformed by Rapidly Advancing Technologies*. New York: Forge, 2001.
- Broderick, Damien, ed. *Year Million: Science at the Far Edge of Knowledge*. New York: Atlas, 2008.
- Brooks, Rodney A. *Flesh and Machines: How Robots Will Change Us*. New York: Vintage, 2003.
- Brown, Lester. *Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization*. New York: Norton, 2009.
- Canton, James. *The Extreme Future: The Top Trends That Will Reshape the World for the Next 10, and 100 Years*. New York: Dutton, 2006.
- Coates, Joseph R, John B. Mahaffie, and Andy Hines. *2025: Scenarios of U.S. and Global Society Reshaped by Science and Technology*. Greensboro, NC: Oakhill Press, 1997.
- Cornish, Edward, ed. *Futuring: The Exploration of the Future*. Bethesda, MD: World Future Society, 2004.
- Crevier, Daniel. *AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*. New York: Basic Books, 1993.
- Davies, Paul. *The Eerie Silence: Renewing Our Search for Alien Intelligence*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2010.
- Denning, Peter J., ed. *The Invisible Future: The Seamless Integration of Technology into Everyday Life*. New York: McGraw Hill, 2002.
- Denning, Peter J., and Robert M. Metcalfe. *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing*. New York: Copernicus, 1997.
- Dertouzos, Michael. *What Will Be: How the New World of Information Will Change Our Lives*. New York: HarperCollins, 1997.
- Didsbury, Howard F., Jr., ed. *Frontiers of the 21st Century: Prelude to the New Millennium*. Bethesda, MD: World Future Society, 1999.
- Didsbury, Howard F., Jr. *21st Century Opportunities and Challenges: An Age of Destruction or an Age of Transformation*. Bethesda, MD: World Future Society, 2003.
- Dyson, Freeman J. *The Sun, the Genome, and the Internet: Tools of Scientific Revolutions*. New York: Oxford University Press, 1999.
- Foundation for the Future. *Future of Planet Earth: Seminar Proceedings*. Bellevue, WA: Foundation for the Future, 2009; [www.futurefoundation.org/publications/index.htm](http://www.futurefoundation.org/publications/index.htm).

- Foundation for the Future. *The Next Thousand Years*. Bellevue, WA: Foundation for the Future, 2004.
- Friedman, George. *The Next 100 Years: A Forecast for the 21st Century*. New York: Doubleday, 2009.
- Hanson, William. *The Edge of Medicine: The Technology That Will Change Our Lives*. New York: Palgrave Macmillan, 2008.
- Kaku, Michio. *Visions: How Science Will Revolutionize the 21st Century*. New York: Anchor, 1998.
- Kurzweil, Ray. *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*. New York: Viking, 2005.
- McElheny, Victor K. *Drawing the Map of Life: Inside the Human Genome Project*. New York: Basic Books, 2010.
- McRae, Hamish. *The World in 2020: Power, Culture, and Prosperity*. Cambridge, MA: Harvard Business School, 1995.
- Mulhall, Douglas. *Our Molecular Future: How Nanotechnology, Robotics, Genetics, and Artificial Intelligence Will Transform Our World*. Amherst, NY: Prometheus, 2002.
- Petersen, John L. *The Road to 2015: Profiles of the Future*. Corte Madera, CA: Waite Group, 1994.
- Pickover, Clifford A., ed. *Visions of the Future: Art, Technology and Computing in the Twenty-first Century*. New York: St. Martin's Press, 1994.
- Rhodes, Richard, ed. *Visions of Technology: A Century of Vital Debate About Machines, Systems, and the Human World*. New York: Simon & Schuster, 1999.
- Ridley, Matt. *The Rational Optimist: How Prosperity Evolves*. New York: HarperCollins, 2010.
- Rose, Steven. *The Future of the Brain: The Promise and Perils of Tomorrow's Neuroscience*. New York: Oxford University Press, 2005.
- Seife, Charles. *Sun in a Bottle: The Strange History of Fusion and the Science of Wishful Thinking*. New York: Viking Penguin, 2008.
- Sheffield, Charles, Marcelo Alonso, and Morton A. Kaplan, eds. *The World of 2044: Technological Development and the Future of Society*. St. Paul, MN: Paragon House, 1994.
- Stock, Gregory. *Redesigning Humans: Choosing Our Genes, Changing Our Future*. Boston: Houghton Mifflin, 2003.
- Thurow, Lester C. *The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World*. New York: William Morrow, 1996.
- Toffler, Alvin, and Heidi Toffler. *Revolutionary Wealth*. New York: Knopf, 2006.
- van der Duin, Patrick. *Knowing Tomorrow? How Science Deals with the Future*. Delft, Netherlands: Eburon, 2007.
- Vinge, Vernor. *Rainbows End*. New York: Tor, 2006.
- Watson, Richard. *Future Files: The 5 Trends That Will Shape the Next 50 Years*. London: Nicholas Brealey, 2008.
- Weiner, Jonathan. *Long for This World: The Strange Science of Immortality*. New York: HarperCollins, 2010.

# ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- Абрагамс Пол (Abrahams, Paul) 89  
Азімов Айзек (Asimov, Isaac) 127, 128, 298, 394  
Айнштайн Альберт (Einstein, Albert) 19, 26, 130, 141, 207, 248, 296, 393  
Аквінський Тома 396  
Аллен Пол (Allen, Paul) 311, 385  
Арістотель 396  
Армстронг Ніл (Armstrong, Neil) 297  
Арцутанов Юрій (Artsutanov, Yuri) 317  
Атала Ентоні (Atala, Anthony) 150, 141
- Бадилак Стівен (Badylak, Stephen) 154  
Баклі Вільям Ф. (Buckley, William F.) 36  
Балтімор Девід (Baltimore, David) 76, 142, 146, 162  
Бассард Роберт (Bussard, Robert W.) 323, 324  
Бенфорд Грегорі (Benford, Gregory) 168  
Бінніг Герд (Binnig, Gerd) 207  
Бірбаумер Нільс (Birbaumer, Niels) 73  
Бісмарк Отто фон (Bismarck, Otto von) 380  
Блюміх Бернгард (Blümich, Bernhard) 80  
Бова Бен (Bova, Ben) 242, 289  
Болдін Девід Е. (Baldwin, David E.) 274  
Браун Ден (Brown, Dan) 326  
Браун Лестер (Brown, Lester) 182  
Бреннер Сідні (Brenner, Sydney) 186  
Бренсон Річард (Branson, Richard) 312  
Брізіл Синтія (Breazeal, Cynthia) 108  
Брукс Родні (Brooks, Rodney) 129-131, 134, 135, 240  
Буш Джордж В. (Bush, George W.) 299
- Вайлд Оскар (Wilde, Oscar) 171  
Ванамейкер Джон (Wanamaker, John) 25  
Вандер Стіві (Стівленд Гардвей Джадкінс) (Stevie Wonder – Stevland Hardaway Judkins) 125  
Вейзер Марк (Weiser, Mark) 36, 37  
Веллс Герберт (Wells, Herbert George) 192, 195

- Вентер Крейг Дж. (Venter, J. Craig) 268  
Верн Жюль (Verne, Jules) 22-24, 26, 315  
Вестфал Крістоф (Westphal, Christoph) 176  
Вікторія, королева Англії (Victoria, Queen of England) 157  
Вілліс Брюс (Willis, Bruce) 135  
Вілмут Ян (Wilmut, Ian) 155  
Вілсон Едвард Осборн (Wilson, Edward Osborne) 163  
Вілсон Чарлз (Wilson, Charles) 20  
Віндж Вернор (Vinge, Vernor) 118, 124  
Вінфрі Опра (Winfrey, Oprah) 176  
Ворнер Гарі М. (Warner, Harry M.) 25  
Ватсон Джеймс (Watson, James) 142, 145  
Ватсон Томас (Watson, Thomas) 25
- Габберт Кінг (Hubbert, M. King) 243  
Гайзенберг Вернер (Heisenberg, Werner) 59  
Гайнляйн Роберт (Heinlein, Robert) 317  
Гакслі Олдос (Huxley, Aldous) 194  
Галілей Галілео (Galilei, Galileo) 296  
Гаррісон Джордж (Harrison, George) 55  
Гебб Дональд (Hebb, Donald) 92, 164  
Гейзелтайн Вільям (Haseltine, William) 177  
Геклер Річард (Heckler, Richard) 91  
Гендрікс Джон (Hendricks, John) 250  
Генгуд Фред (Hargood, Fred) 109  
Герцберг Абрагам (Hertzberg, Abraham) 315  
Гітлер Адольф (Hitler, Adolf) 38, 192  
Гоббс Томас (Hobbes, Thomas) 392  
Гокінг Стівен (Hawking, Stephen) 72  
Гомер (Homer) 170  
Горвіц Ерік (Horvitz, Eric) 86  
Гофферт Мартін (Hoffert, Martin) 289  
Гофштадтер Дуглас (Hofstadter, Douglas) 118, 123, 126  
Гуд Лерой (Hood, Leroy) 217
- Ганді Магатма (Gandhi, Mahatma) 412  
Гардіні Паоло (Gargini, Paolo) 219  
Гарро Джоел (Garreau, Joel) 237  
Гаспаріно Чарлз (Gasparino, Charles) 347  
Гейгер Ханс (Geiger, Hans) 205  
Гейдж Фінеас (Gage, Phineas) 109, 110  
Гейм Андре (Geim, Andre) 222

- Гейтс Білл (Gates, Bill) 367  
Георг III, англійський король (George III, King of England) 157  
Геріш Гарольд (Gerrish, Harold) 328  
Гібсон Вільям (Gibson, William) 24  
Гілберт Волтер (Gilbert, Walter) 150  
Гілберт Даніел (Gilbert, Daniel) 166  
Глейзер Пітер (Glaser, Peter) 289  
Гленн Джон (Glenn, John) 298  
Годдард Роберт (Goddard, Robert) 313  
Голдстейн Сет (Goldstein, Seth) 230  
Гордон Джон Стіл (Gordon, John Steele) 342  
Грант Джеймс (Grant, James) 359  
Гуаренте Леонард П. (Guarente, Leonard P.) 174, 176  
Гуттенберг Йоганн (Gutenberg, Johannes) 337, 340
- Дайсон Фріман (Dyson, Freeman) 268, 313, 314, 323, 368, 387, 388  
Дальтон Джон (Dalton, John) 337  
Дамасіо Антоніо (Damasio, Antonio) 106  
Данте Аліґ'єрі (Dante Alighieri) 167  
Дейвіс Стівен (Davies, Stephen) 154, 153  
Джобс Стів (Jobs, Steve) 367  
Джой Біл (Joy, Bill) 237  
Джонсон Лес (Johnson, Les) 321, 322  
Джонсон Томас (Johnson, Thomas) 172  
Діамандіс Пітер (Diamandis, Peter) 314  
Дін Томас (Dean, Thomas) 89  
Докінз Річард (Dawkins, Richard) 185-187, 190  
Донаґ'ю Джон (Donoghue, John) 71, 72  
Допплер Крістіан (Doppler, Christian) 295  
Дрекслер Ерік (Drexler, Eric) 232  
Дюелл Чарлз Г. (Duell, Charles H.) 25
- Едісон Томас (Edison, Thomas) 26, 245, 339, 344, 349  
Ейзенгауер Двайт (Eisenhower, Dwight) 25  
Екенштам Робін (Ekenstam, Robin) 133  
Елбон Джон (Elbon, John) 312  
Ендрюс Дейна (Andrews, Dana) 326
- Зубрін Роберт (Zubrin, Robert) 326
- Йошіда Хіроші (Yoshida, Hiroshi) 290

- Інгаллз Джон Дж. (Ingalls, John J.) 25
- Камерон Джеймс (Cameron, James) 294  
Канекійо Кенсукє (Kanekiyo, Kansuke) 290  
Кант Іммануїл (Kant, Immanuel) 394  
Капор Мітч (Kapor, Mitch) 126  
Кардашов Микола (Kardashev, Nikolai) 371-373, 386, 387  
Касіо Жамє (Cascio, Jamais) 240, 241  
Каспаров Гаррі (Kasparov, Gary) 90, 91  
Квейк Стівєн (Quake, Stephen) 147  
Кей Кєндрік (Kay, Kendrick) 74  
Кєллєр Гєлєн (Keller, Helen) 36  
Кєллї Шєйнє (Kelley, Shana) 216  
Кємпбєлл Мєйкл Е. (Campbell, E. Michael) 275  
Кємпбєлл Дєжєйсєн (Campbell, Jason) 228  
Кєннєдї Пєл (Kennedy, Paul) 337  
Кєнтєн Дєжєймє (Canton, James) 242  
Кєплєр Йєгєнн (Kepler, Johannes) 293  
Кларк Артур (Clarke, Arthur C.) 317  
Клєузєвіц Карл фєн (Clausewitz, Carl von) 379  
Клєйн Рїчєрд (Klein, Richard) 187, 188  
Кєллїнз Фрєнсїс (Collins, Francis) 157  
Кєлємб Хрїстєфєр (Columbus, Christopher) 356  
Кєндєрсє мєркїз дє (Condorcet, Marquis de) 392, 393  
Крєусс Мєйкл Е. (Krauss, Michael E.) 374  
Крїк Фрєнсїс (Crick, Francis) 145  
Крєтцєн Пєл (Crutzen, Paul) 266  
Кєкєс Фїліп (Kuekes, Philip) 202  
Кєрцвєйл Рєй (Kurzweil, Ray) 125, 126
- Лєнцє Рєбєрт (Lanza, Robert) 143, 144, 152, 185, 191, 192  
ЛєКєн Ян (LeCun, Yann) 97  
Лєнє Дєжєй (Leno, Jay) 111  
Лєєнєрдє дє Вїнчї (Leonardo da Vinci) 23, 24, 103  
Лєпп Рєлєф (Lapp, Ralph) 271  
Лї Кєуєн Ю (Lee Kuan Yew) 366, 367  
Лїлієнтєлє Дєвїд (Lilienthal, David) 271  
Ллєйд Сєт (Lloyd, Seth) 224  
Лєрїє Олєксєндр (Luria, Alexander) 167  
Лєтц Рєбєрт (Lutz, Robert) 251  
Лєттвєк Едвєрд (Luttwak, Edward) 380  
Лєйбнїц Гєттфрїд (Leibniz, Gottfried) 119

- Маес Петті (Maes, Pattie) 65  
Макартур Джон Д. (MacArthur, John D.) 79  
Макартур Кетрін Т. (MacArthur, Catherine T.) 79  
МакГінніс Дейв (McGinnis, Dave) 327  
МакРей Геміш (McRae, Hamish) 350, 357, 361  
Максвелл Джеймс Кларк (Maxwell, James Clerk) 26, 339  
Маллук Томас (Mallouk, Thomas) 213  
Мальтус Томас (Malthus, Thomas) 181, 182  
Маркесс Рон (Marquess, Ron) 155, 156  
Маркрам Генрі (Markram, Henry) 113, 114  
Мартель Сільвен (Martel, Sylvain) 214  
Микола II, цар 157  
Мізенбок Джеро (Miesenbock, Gero) 111  
Міллер Вебб (Miller, Webb) 188, 189  
Мінські Марвін (Minsky, Marvin) 119, 130  
Мірабо Лейк (Myrabo, Leik) 313  
Мішел Волтер (Mischel, Walter) 121  
Могамад Магаггір (Mohamad, Mahathir) 336  
Модха Джармендр (Modha, Dharmendra) 114, 115  
Мозес Едвард (Moses, Edward) 275  
Мор Томас (More, Sir Thomas) 238, 239  
Моравек Ганс (Moravec, Hans) 94, 123, 137  
Морфут Лінда (Morfoot, Linda) 132  
Мур Гордон (Moore, Gordon) 37, 38, 40, 55-59, 91, 139, 146, 147, 202, 219, 221, 245  
Мур Демі (Moore Demi) справжнє ім'я – Demi Guynes Kutcher 205
- Наджмабаді Фаррох (Najmabadi, Farrokh) 279  
Некке Ніколас (Neecke, Nikolas) 63  
Ніколесіс Мігель А. Л. (Nicoletis, Miguel A. L.) 72  
Ніксон Річард (Nixon, Richard) 160  
Новосьолов Костянтин (Novoselov, Kostya) 222, 223  
Нойманн Джон фон (Neumann, John von) 124, 140, 383  
Ньютон Ісаак (Newton, Isaac) 26, 141, 192, 298, 337-339
- О'Нейлл Джерард (O'Neill, Gerard) 311  
Обама Барак (Obama, Barack) 255, 299, 300, 306  
Олдрін Базз (Aldrin, Buzz) 297, 306  
Олексій, син царя Миколи II 157  
Омае Кенічі (Ohmae, Kenichi) 375  
Орвелл Джордж (Orwell, George) 355

- Паабо Сванте (Pääbo, Svante) 187  
Парвіз Бабак А. (Parviz, Babak A.) 42-44  
Паскуалі Маттео (Pasquali, Matteo) 317  
Пастер Луї (Pasteur, Louis) 201  
Паулі Вольфганг (Pauli, Wolfgang) 205, 233  
Пек Мейсон (Peck, Mason) 331-333  
Пенфілд Вайлдер (Penfield, Wilder) 110  
Перон Хуан (Perón, Juan) 271  
Пік Кім (Peek, Kim) 139  
Планк Макс (Planck, Max) 80  
Поджіо Томазо (Poggio, Tomaso) 95, 96  
Понс Стенлі (Pons, Stanley) 271, 282  
Пост Стівен (Post, Steven) 396  
Пострел Вірджинія (Postrel, Virginia) 343  
Пурнель Джеррі (Pournelle, Jerry) 245
- Распутін Григорій (Rasputin, Grigori) 157  
Раттнер Джастін (Rattner, Justin) 229, 231  
Рейган Рональд (Reagan, Ronald) 376  
Рів Крістофер (Reeve, Christopher) 152  
Ріхтер Рональд (Richter, Ronald) 271, 272, 282  
Рорер Гайнріх (Rohrer, Heinrich) 207  
Роуз Майкл (Rose, Michael) 172  
Рубін Джеррі (Rubin, Gerry) 116  
Рузвельт Франклін Делано (Roosevelt, Franklin Delano) 38  
Рутан Берт (Rutan, Burt) 311, 312
- Саган Карл (Sagan, Carl) 291, 372, 387  
Саймон Герберт (Simon, Herbert) 89  
Саймон Джуліан (Simon, Julian) 369  
Саллівен Марк (Sullivan, Mark) 24  
Сен Аюсман (Sen, Ayusman) 213  
Серф Вінтон (Cerf, Vint) 225, 328  
Сілва Алчіно (Silva, Alcino) 167  
Сімоні Чарлз (Simonyi, Charles) 312  
Сінклер Девід (Sinclair, David) 174-176  
Сміт Адам (Smith, Adam) 352, 353, 356  
Сміт Вілл (Smith, Will – Willard Christopher Smith) 128  
Сміт Джеральд (Smith, Gerald) 326  
Смоллі Річард (Smalley, Richard) 202, 232-234  
Стеффенс Джон (Steffens, John) 346  
Сток Грег (Stock, Greg) 138, 181, 196



- Стреттон Майк (Stratton, Mike) 161  
Стюарт Поттер (Stewart, Potter) 348  
Суссман Джеральд (Sussman, Gerald) 142
- Тачі Сусуму (Tachi, Susumu) 60  
Тейлор Доріс (Taylor, Doris) 153, 154  
Тейлор Теодор (Taylor, Theodore) 258, 259  
Телейархан Рузі (Taleyarkhan, Rusi) 281  
Тідман Дерек (Tidman, Derek) 315  
Тоффлер Гейді (Toffler, Heidi) 362  
Тоффлер Елвін (Toffler, Alvin) 362  
Тур Джеймс (Tour, James) 213  
Туров Лестер (Thurrow, Lester) 356, 357, 360  
Тюрінг Алан (Turing, Alan) 92
- Улям Станіслав (Ulam, Stanislaw) 124
- Фарадей Майкл (Faraday, Michael) 26, 339  
Фарохзад Омід (Farokhzad, Omid) 212  
Фарнсворд Філо (Farnsworth, Philo) 282  
Фейнман Річард (Feynman, Richard) 171, 201, 203, 204, 207  
Фінеас Гейдж (Gage, Phineas) 109, 110  
Флейшман Мартін (Fleischmann, Martin) 271, 272, 282  
Фокс Майкл (Fox, Michael J.) 286  
Форд Гаррісон (Ford, Harrison) 127  
Форд Генрі (Ford, Henry) 245, 246, 252, 344, 353, 395  
Фрайтас Роберт молодший (Freitas, Robert A., Jr.) 179  
Франклін Бенджамін (Franklin, Benjamin) 391-393  
Фрідман Джошуа (Friedman, Joshua) 74  
Фрідман Томас (Friedman, Thomas) 344, 345  
Фріш Макс (Frisch, Max) 40  
Фройд Зігмунд (Freud, Sigmund) 130
- Хан Абдул Кадір (Khan, A. Q.) 257  
Хуссей Саддам (Hussein, Saddam) 257
- Цінь, імператор (Qin) 170  
Ціолковський Костянтин (Tsiolkovsky, Konstantin) 315  
Цянь Джозеф (Tsien, Joseph) 163

- Чалмерс Девід (Chalmers, David) 119  
Чарлз, принц Уельський (Charles, Prince of Wales) 237  
Черч Джордж (Church, George) 188  
Черчілль Вінстон (Churchill, Winston) 19, 38, 394  
Чжан Пей (Zhang, Pei) 333, 334  
Чжан Цзінь (Zhang, Jin) 213  
Чжу Ді, імператор (Zhu Di) 336  
Чіпріані Крістіан (Cipriani, Christian) 133
- Швабл Майк (Schwabl, Mike) 252  
Шварц Пітер (Schwartz, Peter) 265  
Шварценеггер Арнольд (Schwarzenegger, Arnold) 155, 165, 227  
Шекспір Вільям (Shakespeare, William) 35, 395  
Шень Вей-Мінь (Shen, Weimin) 101  
Шентаг Джером (Schentag, Jerome) 210  
Шопенгауер Артур (Schopenhauer, Arthur) 36  
Шостак Сет (Shostak, Seth) 385  
Шоу Джордж Бернард (Shaw, George Bernard) 394  
Шрьодер Гергард (Schröder, Gerhard) 364  
Шрьодінгер Ервін (Schrödinger, Ervin) 145  
Штьормер Горст (Stormer, Horst) 201  
Шульц Таня (Schultz, Tanja) 67  
Шустер Стефан (Schuster, Stephan) 188, 189
- Юдковський Еліезер (Yudkowsky, Eliezer) 128
- Янг Ларрі (Young, Larry) 166

**Мічіо Кайку**  
**Фізика майбутнього**

*Переклад з англійської*  
Анжели Кам'янець

Керівник проекту  
*Михайло Комарницький*

Наукові редактори  
*Іван Вакарчук, Віктор Федоренко*

Редактор  
*Ірина Новіцька*

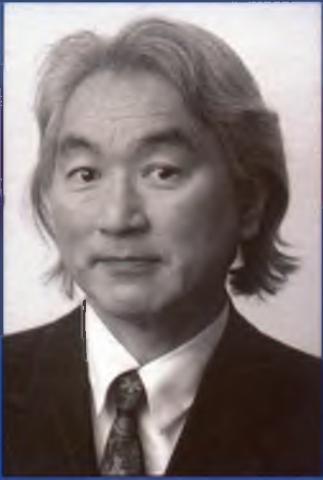
Художньо-технічний редактор  
*Анна Ладик*

Верстка  
*Андрія Василюва*

Видавництво "Літопис"  
вул. Костюшка, 2  
79000 м. Львів  
тел./факс (032) 2721571  
[litopys@ukr.net](mailto:litopys@ukr.net)  
[www.litopys.lviv.ua](http://www.litopys.lviv.ua)  
<http://facebook.com/litopys>

Свідоцтво про державну реєстрацію:  
серія ДК №426 від 19.04.2001

Формат 60x90  $\frac{1}{16}$   
Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Офсетний друк



Доктор Мічіо Кайку – науковець зі світовим ім'ям у галузі теоретичної фізики. Обіймає посаду професора теоретичної фізики в Сіті-коледжі Нью-Йоркського університету.

Він прагне здійснити мрію Айнштейна про “теорію всього” – знайти єдине рівняння, яке б об'єднало всі фундаментальні сили Всесвіту.

Ведучий численних наукових програм на телеканалах *BBC-TV*, *Discovery* і *Science*, присвячених визначним винаходам і відкриттям, знімається в документальних фільмах, виступає з лекціями в багатьох країнах світу, зокрема в Україні (травень 2013).

Мічіо Кайку веде щотижневу годинну радіопередачу, що має своїх слухачів у 130 містах США, в якій популяризує найновіші наукові відкриття й технологічні досягнення.

Феномен Мічіо Кайку полягає у вмінні доступно пояснити складні проблеми теоретичної фізики та світобудови для широкої аудиторії.