

СЕМ КІН

ЛОЖКА, ЩО ЗНИКАЄ

ПРАВДИВІ РОЗПОВІДІ
З ПЕРІОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ХІМІЧНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ПРО БЕЗУМСТВО,
КОХАННЯ ТА ІСТОРІЮ СВІТУ

Zn²⁸
65.384

Ho⁸
164.930

O⁸
15.999

Au⁷⁹
107.868

C⁶
12.011

Ar¹⁸
39.948

He²
4.003

Tm⁶⁹
168.934

Sb⁵¹
121.760

B⁵
10.812

ВИДАВНИЧИЙ ДІМ

ФАБУЛА

#PRO





Періодична таблиця — це антропологічне диво, людський артефакт, який відображає всі прекрасні, майстерні та потворні аспекти людей і те, як ми взаємодіємо з фізичним світом, це історія нашого біологічного виду, записана в компактному та елегантному сценарії.

Вона заслуговує вивчення на кожному з рівнів, починаючи з найелементарнішого і поступово рухаючись до найскладніших. Казки періодичної таблиці не просто нас розважають — вони дають спосіб її розуміння, який ніколи не з'являється в підручниках чи лабораторних посібниках.

Ми їмо періодичну таблицю і дихаємо нею, робимо ставки і втрачаємо на ній величезні суми, використовуємо її для найрізноманітніших досліджень.

Вона труїть людей. Вона породжує війни. Між воднем у верхньому лівому куті та створеними людиною неможливостями, що причаїлися внизу, можна знайти бульбашки, бомби, гроші, алхімію, дрібну політику, історію, отруту, злочин та любов. І навіть якусь науку.



-  www.fabulabook.com
-  www.facebook.com/Fabulabook
-  t.me/fabulabook
-  www.instagram.com/fabulabook

СЕМ КІН

ЛОЖКА, ЩО ЗНИКАЄ

**ПРАВДИВІ РОЗПОВІДІ
З ПЕРІОДИЧНОЇ СИСТЕМИ ХІМІЧНИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ПРО БЕЗУМСТВО,
КОХАННЯ ТА ІСТОРІЮ СВІТУ**

ВИДАВНИЧИЙ ДІМ

Ф А Б У Л А
#PRO

Оригінальна назва твору:
THE DISAPPEARING SPOON
And Other True Tales of Madness, Love, and the History of the World
from the Periodic Table of the Elements

Видання опубліковане за погодженням з Little, Brown and Company, Нью-Йорк,
штат Нью-Йорк, США.

Усі права збережено.

*Жодна частина цієї книжки не може бути відтворена
в будь-якій формі без письмового дозволу власників авторських прав.*

Кін Сем

К40 Ложка, що зникає: правдиві розповіді з періодичної системи хімічних елементів про безумство, кохання та історію світу / пер. з англ. Е. Рабінович. — Харків : ВД «Фабула», 2023. — 352 с.

ISBN 978-617-522-025-2

Через що Магатма Ганді ненавидів йод? Як радій майже зіпсував репутацію Марії Кюрі? Чому галій є улюбленим елементом хіміків-жартівників? Ці та інші неймовірні оповіді про науку, історію, фінанси, міфологію, мистецтво, медицину тощо розкаже періодична система хімічних елементів. Вона є не лише видатним науковим досягненням, а й скарбницею пригод, зради та одержимості. Книжка містить захопливі факти про хімічні елементи, а також їхню роль в історії людства та житті своїх першовідкривачів. Ви дізнаєтеся, що відбувається всередині зорь і до чого тут Великий вибух. І це буде дуже цікаво для допитливих читачів будь-якого віку.

УДК 544.11:54.02:539.183

Зміст

<i>Вступ</i>	5
--------------------	---

Частина I

ОРІЄНТАЦІЯ: СТОВПЕЦЬ ЗА СТОВПЦЕМ, РЯДОК ЗА РЯДКОМ

1. Географія — то є доля..... 13
2. Майже близнюки та чорна вівця: генеалогія елементів..... 31
3. Галапагоські острови періодичної системи 45

Частина II

СТВОРЕННЯ АТОМІВ, РУЙНУВАННЯ АТОМІВ

4. Звідки беруться атоми: «Ми всі зоряна матерія» 61
5. Елементи в часи війни 76
6. Заповнення таблиці... з вибухом..... 91
7. Розширення таблиці, розширення холодної війни... 106

Частина III

ПЕРІОДИЧНЕ ЗАМІШАННЯ: ВИНИКНЕННЯ УСКЛАДНЕННЯ

8. Від фізики до біології 123
9. Коридор отруювачів: «Ой-ой» 137
10. Візьми два елементи, зателефонуй мені вранці..... 150
11. Як елементи обманюють 167

Частина IV

ЕЛЕМЕНТИ ЛЮДСЬКОГО ХАРАКТЕРУ

12. Політичні елементи	181
13. Елементи як гроші	197
14. Художні елементи	211
15. Елемент божевілля	225

Частина V

НАУКА ПРО ЕЛЕМЕНТИ СЬОГОДНІ ТА ЗАВТРА

16. Шлях хімії, шлях нижче нуля	241
17. Сфери блиску: наука про бульбашки	256
18. Інструменти смішної точності	272
19. Над (і поза) періодичною таблицею	287

Визнання та подяки

300

Примітки та виправлення помилок

301

Бібліографія

333

Алфавітний покажчик

334

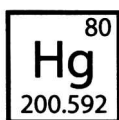
Про автора

349

Періодична система хімічних елементів

351

Вступ



У дитинстві, на початку 1980-х, я мав звичку розмовляти з повним ротом, хай там що в ньому було — їжа, стоматологічні трубки, повітряні кульки, які через це кудись летіли, що завгодно, — і навіть якщо нікого не було поруч, я все одно говорив. Ця звичка призвела до мого захоплення періодичною таблицею, коли я вперше залишився наодинці з термометром під язиком. У другому та третьому класах у мене був стрептокок у горлі десь разів десять, і протягом декількох днів було боляче ковтати. Я був не проти залишатися вдома, подалі від школи, і лікуватися ванільним морозивом та шоколадним сиропом. До того ж хвороба завжди давала мені черговий шанс розбити старомодний ртутний градусник.

Лежачи зі скляною паличкою під язиком, я вголос відповідав на уявні запитання, тож термометр вислизнув у мене з рота й розбився на твердій дерев'яній підлозі, а рідка ртуть із його колби розсипалася, наче кульки з вальниці.

А за хвилину моя мати вже сідала на підлогу, попри артритичні стегнові суглоби, і починала збирати кульки. Використовуючи зубочистку як хокейну ключку, вона підштовхувала еластичні кульки одна до одної, аж поки вони майже стикалися. Раптово, з останнім поштовхом, одна кулька ковтала іншу. Утворювалася одна безшовна тремтлива сфера там, де щойно було дві. Мати повторювала цей чарівний трюк знову і знову, по всій підлозі, одна велика кулька ковтала інші, поки не було відновлено всю срібну сочевицю.

Зібравши всі краплі ртуті, вона брала позначену зеленою етикеткою пляшечку для пілюль, яку ми тримали в кухні на полиці для всіляких дрібниць між плюшевим ведмедиком з вудкою та синім керамічним кухлем із родинної зустрічі 1985 року. Перекотивши сріблясту кулю в цю пляшечку, мати обережно вилила туди ж, на сферу розміром із pekanовий горіх, залишки ртуті з термометра. Іноді, перш ніж сховати пляшечку, вона виливала живе срібло на кришечку і дозволяла нам — мені з братами і сестрами — подивитися, як футуристичний метал хутко перекочується туди-сюди, завжди розділяючись на частки, а потім знову стаючи єдиним цілим. Мені було дуже шкода дітей, чиї матері так боялися ртуті, що навіть не давали їм їсти тунця. Середньовічні алхіміки, попри жагу до золота, уважали ртуть найпотужнішою і найпоетичнішою речовиною у Всесвіті. Дитиною я погоджувався з ними. Я навіть вірив, як і вони, що ртуть виходить за звичні для першого-ліпшого перехожого категорії: рідке або тверде, метал або вода, небо чи пекло; що вона містить духів інших світів.

Ртуть діє в такий спосіб, з'ясував я пізніше, тому що вона є елементом. На відміну від води (H_2O), вуглекислого газу (CO_2) або майже будь-чого іншого, з чим ви стикаєтеся щодня, неможливо жодним природним шляхом розділити ртуть на дрібніші частини. Насправді ртуть є одним із найбільш культових елементів: її атоми хочуть мати за компанію лише інші атоми ртуті й мінімізують контакт із зовнішнім світом, збираючись у сферу. Більшість рідин, які я проливав у дитинстві, не були такими. Вода потрапляла всюди, як і олія, оцет чи незастигле желе *Jell-O*. Ртуть ніколи не залишала цятки. Мої батьки завжди попереджали мене обов'язково носити взуття, коли я впускав термометр, щоби невидимі осколки скла не потрапляли на ноги. Але я не пригадую попереджень щодо розлитої ртуті.

Тривалий час я виловлював згадки про вісімдесятій елемент у школі та книжках, як ви могли б відшукувати в газеті ім'я друга дитинства. Я родом із Великих рівнин і дізнався з уроків історії, як Льюїс і Кларк промандрували від Південної Дакоти до Луїзіани, маючи мікроскоп, компаси, секстанти, три ртутні термометри та інші прилади. Але тоді я ще не знав, що вони також мали із собою шість сотень ртутних проносних пілюль, кожна в чотири рази більша за аспірин. Цей проносний засіб називався «Жовчні

таблетки доктора Раша», на честь їх творця Бенджаміна Раша, підписанта Декларації незалежності та лікаря-героя, що мужньо перебував у Філадельфії під час епідемії жовтої лихоманки 1793 року. Його засіб від будь-якого захворювання домашніх улюбленців був ртутно-хлоридним шламом для перорального застосування. Попри успіхи медицини, досягнуті між 1400 та 1800 роками, лікарі тієї епохи залишалися більше шаманами, ніж медиками. Спираючись на якусь співчутливу магію, вони вважали, що прекрасна й приваблива ртуть може вилікувати пацієнтів, доводячи їх до потворної кризи — отрута б'ється проти отрути. Доктор Раш змушував пацієнтів уживати розчин доти, доки вони не захлиналися слиною, і часто зуби та волосся людей випадали за кілька тижнів або місяців безперервного лікування. Його «лікування», без сумніву, отруїло або відверто вбило купу людей, яких жовта лихоманка, можливо, і пощадила би. Проте, удосконаливши своє лікування у Філадельфії, за десять років він відправив Мерівезера і Вільяма із заздалегідь упакованими зразками. Як корисний побічний ефект таблетки доктора Раша дозволили сучасним археологам відстежити місця, де ставали табором дослідники краю. Через незвичну їжу та сумнівної якості воду, з якими вони стикалися в дикій природі, хтось в експедиції завжди страждав на пронос, і до цього дня відкладення ртуті в ґрунті позначають багато місць, де загін викопував туалет, можливо, після того як «Громовержець» доктора Раша спрацьовував аж занадто добре.

Ртуть також з'явилася й на уроках природознавства. Уперше ознайомившись із хащами періодичної таблиці, я ретельно вишукував у ній ртуть і не зміг її знайти. А вона ж там — між золотом, котре таке ж важке і м'яке, і талієм, який такий же отруйний. Але символ ртуті Hg складається з двох літер, яких навіть немає в її назві. Розгадування цієї таємниці — походження назви від *hydrargyrum*, латиною «водне срібло», — допомогло мені зрозуміти, як суттєво давні мови та міфологія вплинули на періодичну таблицю, що ви й зараз можете побачити в латинських назвах для нових, надважких елементів у нижньому ряду.

Я знайшов ртуть і на уроці літератури. Колись виробники капелюхів використовували яскраво-помаранчеву ртутну мийну рідину, щоби відокремити хутро від шкурок, а звичайні робітники, які поралися навколо парних чанів, як Безумний Капелюшник з «Аліси

в Країні Див», поступово втрачали волосся та розум. Урешті-решт я зрозумів, наскільки отруйна ртуть. Це пояснило, чому жовчні таблетки доктора Раша так добре очищали кишківник: організм позбавлявся від будь-якої отрути, зокрема ртуті. І хай яким небезпечним є ковтання ртуті, але її пари ще гірші. Вони переривають «проводи» в центральній нервовій системі й пропалюють дірки в мозку, як це відбувається в разі хвороби Альцгеймера.

Але що більше я дізнавався про небезпеку ртуті, то більше мене приваблювала її руйнівна краса — як Тигр в однойменному вірші Вільяма Блейка. Згодом мої батьки переробили кухню і зняли полицю з кухлем і плюшевим ведмедиком, але вони зберігали речі з неї в картонній коробці, усі разом. Під час нещодавніх відвідин я знайшов та відкрив пляшечку із зеленою етикеткою. Нахилиючи її туди-сюди, я відчував вагу, що ковзає по колу. А коли зазирнув через обідок, то одразу зафіксував очима крихітні шматочки, що сплеснули по боках головного каналу. Вони просто сиділи там, блискучі, як намистинки води, такі ідеальні, що їх можна зустріти лише у фантазіях. Протягом усього дитинства я пов'язував розливу ртуть із лихоманкою. Цього разу, знаючи страшну симетрію цих маленьких сфер, я відчув холод.

* * *

Через цей один елемент я вивчив історію, етимологію, алхімію, міфологію, літературу, криміналістику отрут та психологію¹. І це були не єдині історії від елементів, котрі я зібрав, особливо після того, як занурився в наукові дослідження в коледжі та знайшов декількох професорів, які із задоволенням відкладали свої дослідження заради невеликої наукової балаканини.

Студентом, спеціалізуючись із фізики та мріючи вирватися з лабораторії й писати, я почувався жалюгідним серед серйозних та обдарованих молодих учених, з якими разом навчався, котрі любили експерименти методом проб та помилок так, як я ніколи не міг. Я провів п'ять холодних років у Міннесоті й отримав диплом із відзнакою з фізики, але, попри сотні годин, проведених у лабора-

¹ Ця та всі майбутні зірочки стосуються розділу «Примітки та виправлення помилок», який починається на с. 301 і продовжує обговорення різних цікавих моментів. А якщо вам потрібно звернутися до періодичної таблиці, див. с. 350–351.

торіях, попри заучування напам'ять тисяч рівнянь, попри накреслювання десятків тисяч діаграм та схем зі шківками без тертя та похилими площинами¹, моя справжня освіта полягала в розповідях моїх викладачів. Розповіді про Ганді, Годзіллу та евгеніста, який використовував германій для крадіжки Нобелівської премії. Про те, як кидали шматки вибухонебезпечного натрію в річки і вбивали рибу. Про людей, задушених, хай і цілком блаженно, азотом у космічних шатлах. Про колишнього професора в моєму університетському містечку, який експериментував із кардіостимулятором з плутонієвим живленням у власних грудях, прискорюючи й уповільнюючи його, коли стояв поруч із гігантськими магнітними коштушками та нахилився туди й назад.

Я причепився до цих казок, і нещодавно, чомусь згадавши про ртуть за сніданком, зрозумів, що в кожного елемента періодичної таблиці є забавна, незвичайна чи моторошна історія. Водночас періодична таблиця — одне з великих інтелектуальних надбань людства. Це і наукове досягнення, і книжка оповідань — і я написав її, щоби зняти всі шари один за одним, як прозорі сторінки в підручнику з анатомії, котрі розповідають ту саму історію на різній глибині.

На найпростішому рівні періодична таблиця каталогізує всі різні види матерії в нашому Всесвіті, ті сто незвичайних персонажів, сильні особистості яких породжують усе, що ми бачимо і чого торкаємося. Форма таблиці також дає нам наукові підказки щодо того, як ці особистості змішуються між собою в натовпі. На дещо складнішому рівні періодична таблиця кодує всіляку криміналістичну інформацію про те, звідки беруться всі різновиди атомів і які атоми можуть ділитися на фрагменти або мутувати в інші атоми. Ці атоми також природно поєднуються в динамічні системи, наче живі істоти, і періодична таблиця передбачає, як саме це відбувається. Вона навіть передбачає, які коридори серед непорядних елементів можуть зашкодити живим істотам чи навіть знищити їх.

Періодична таблиця — це, нарешті, антропологічне диво, людський артефакт, який відображає всі прекрасні, майстерні та потворні аспекти людей і те, як ми взаємодіємо з фізичним світом, це історія нашого біологічного виду, записана в компактному та елегантному сценарії. Вона заслуговує вивчення на кожному з рівнів, починаючи з найелементарнішого і поступово рухаючись до

¹ Схеми до типових задач з механіки.— Прим. перекл.

найскладніших. Казки періодичної таблиці не просто нас розважають — вони дають спосіб її розуміння, який ніколи не з'являється в підручниках чи лабораторних посібниках. Ми їмо періодичну таблицю і дихаємо нею; робимо ставки і втрачаємо на ній величезні суми; філософи використовують її для дослідження значення науки. Вона труїть людей; вона породжує війни. Між воднем у верхньому лівому куті та створеними людиною неможливостями, що причаїлися внизу, ви можете знайти бульбашки, бомби, гроші, алхімію, дрібну політику, історію, отруту, злочин та любов. І навіть якусь науку.

He B Sb Ce
Tm O Ge Yb
C Ga Si Y
As Ge

Частина I

**ОРІЄНТАЦІЯ:
СТОВПЕЦЬ ЗА СТОВПЦЕМ,
РЯДОК ЗА РЯДКОМ**

Er Tb He B
Si Ge C Tm Yb
Tm B As
O Ce

1

Географія — то є доля

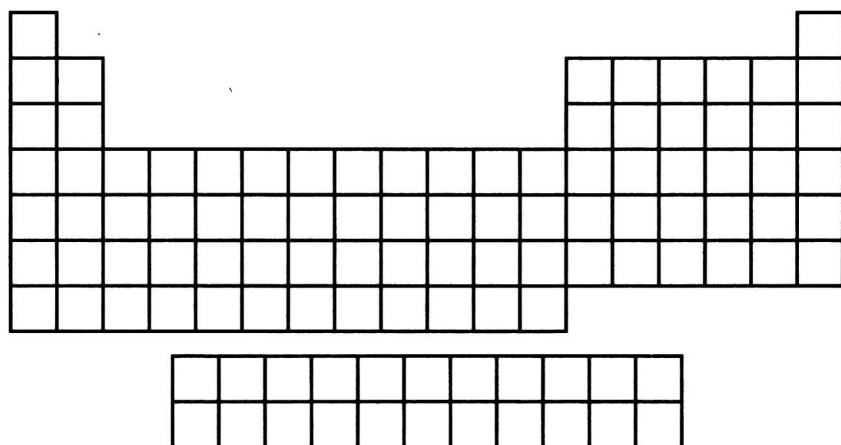
He ² 4.003	B ⁵ 10.812	Sb ⁵¹ 121.760	Tm ² 168.934	O ⁸ 15.999	Ho ⁶⁷ 164.930
--------------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------------

К оли більшість людей думає про періодичну таблицю, вони згадують діаграму, що висить на стінці хімічного кабінету їхньої середньої школи, асиметричний простір стовпців і рядків, що виринає з-за плечей учителя. Діаграма зазвичай була величезна, десь добрячі два метри на метр,— розмір і страшний, і доречний, урахувуючи її значення для хімії. Вона з'явилася в кабінеті на початку вересня і все ще була актуальною наприкінці травня, і це була єдина частина наукової інформації, якою, на відміну від підручників чи конспектів лекцій, не просто дозволяли — навіть заохочували користуватися під час іспитів. Звичайно, частина розчарувань, які ви будете згадувати стосовно періодичної таблиці, може впливати з того факту, що, хоча вона цілком доступна, щоб скрутної хвилини звернутися до неї як до гігантської й цілком санкціонованої шпаргалки, допомоги від цього було як від голої сід... стінки.

З одного боку, періодична таблиця здавалася організованою та відполірованою з майже німецькою досконалістю для максимальної наукової корисності. З іншого боку, це така мішанина довгих чисел, скорочень і того, що для всього світу мало вигляд повідомлення про комп'ютерну помилку ($[\text{Xe}] 6s^2 4f^1 5d^1$), тож було важко не відчувати тривоги. І хоча періодична таблиця вочевидь мала щось

спільне з іншими науками, як-от біологія та фізика, було незрозуміло, що саме. Мабуть, найбільшим розчаруванням для багатьох студентів було те, що люди, котрі *сприймали* періодичну таблицю і дійсно могли розуміти, як вона працює, мали змогу витягнути з неї стільки фактів із такою разючою безтурботністю. Це було те саме роздратування, яке мають відчувати дальтоніки, коли люди з нормальним зором знаходять сімки чи дев'ятки, заховані всередині тих багатокольорових точкових малюнків,— важлива, але прихована інформація, котра ніколи не перетворюється на логічну зв'язність. Спогади людей про таблицю є сумішшю захоплення, прихильності, неадекватності та огиди.

Перед тим як запровадити періодичну таблицю, кожен викладач повинен прибрати геть усі нагромадження й умовити учнів просто дивитися на цю річ як на порожній бланк.



На що це схоже? Начебто замок з нерівною головною стіною, ніби королівські муляри ще не закінчили будувати лівий бік і високі захисні башти з обох кінців. Він має вісімнадцять нерівних стовпчиків та сім горизонтальних рядків, із «посадковою смугою» з двох додаткових рядків, що висить унизу. Замок зроблено з «цегли», і перше не очевидне в ньому — це те, що цеглини не є взаємозамінними. Кожна цеглина — це *елемент* або тип речовини (на момент написання книжки таблицю складають 112 елементів із ще кількома відкладеними), і весь замок розсипався б, якби якась із цих цеглин не розташовувалася саме там, де вона є зараз. Це не перебільшення: якби вчені визначили, що один елемент в якийсь

спосіб уписується в інший слот або два елементи можна поміняти місцями, уся споруда розвалилася б.

Ще одна архітектурна дивина полягає в тому, що в різних зонах замок побудовано з різних матеріалів. Тобто не всі цеглини виготовлено з однієї речовини, а також вони не мають однакових властивостей. Сімдесят п'ять відсотків цегли — це метали, а отже, більшість елементів — холодні, сірі тверді речовини, принаймні за температур, до яких звикли люди. Кілька стовпців на східній стороні містять гази. Лише два елементи — ртуть та бром — це рідини за кімнатної температури. Між металами та газами, приблизно там, де на карті США розташовується Кентуккі, перебувають деякі важко визначені елементи, аморфна природа яких надає їм цікавих властивостей, як-от здатність утворювати кислоти, у мільярди разів сильніші за все, що замкнене в хімічній коморі. Загалом, якби кожну цеглину було виготовлено з речовини, котру вона представляє, замок елементів був би химерою з доповненнями та крилами з невідповідних епох або, більш милосердно, будівлею Даніеля Лібескінда з начебто несумісних матеріалів, зведених разом в елегантне ціле.

Причина затриматися над кресленнями замкових стін зумовлена фактом, що координати елемента визначають майже все науково цікаве про нього. Для кожного елемента його географія є його долею. Насправді тепер, коли ви маєте певне уявлення щодо вигляду контурів таблиці, я можу перейти до більш корисної метафори: періодична таблиця — наче карта. І щоби зробити креслення трохи детальнішим, я маю намір скласти цю карту зі сходу на захід, затримуючись як на добре відомих, так і на рідкісних елементах.

По-перше, у вісімнадцятому, крайньому правому, стовпці розташований набір елементів, відомих як благородні гази. *Благородство* — це архаїчне, смішне на слух слово, менше хімія, ніж етика чи філософія. І справді, термін «благородні гази» походить із місця народження західної філософії, Стародавньої Греції. Там, після того як його земляки Левкіпп і Демокріт винайшли ідею атомів, Платон викарбував слово «елемент» як загальний термін для різних дрібних частинок речовини. Платону, який покинув Афіни близько 400 р. до н. е. заради власної безпеки після смерті свого наставника Сократа й роками блукав, пишучи філософію, звичайно, бракувало знань про те, що насправді є елементом з погляду хімії. Але якби

він знав, то, без сумніву, вибрав би як своїх фаворитів елементи зі східного краю таблиці, особливо гелій.

У своєму діалозі про кохання та еротичу «Симпозіум» Платон стверджував, що кожна істота прагне знайти своє доповнення, свою втрачену половину. Якщо застосовувати цю ідею до людей, вона передбачає пристрасть та секс — і всі неприємності, які супроводжують пристрасть та секс. Крім того, Платон підкреслював у своїх діалогах, що абстрактні й незмінні речі по суті є більш благородними, ніж речі, які зустрічаються навколо і взаємодіють із грубою матерією. Це пояснює, чому він обожнював геометрію з її ідеалізованими колами та кубами, предметами, що їх сприймає лише наш розум. Для нематематичних об'єктів Платон розробив теорію «форм», яка стверджувала, що всі об'єкти є тіннями одного ідеального зразка. Наприклад, усі дерева — це недосконалі копії ідеального дерева, до ідеальної «деревності» якого вони прагнуть. Те саме з рибою та «рибністю» чи навіть чашками та «чашністю». Платон уважав, що ці форми не просто теоретичні, а насправді існують, навіть якщо вони плавають навколо в емпіреї за межами прямого сприйняття людей. Тому він був би настільки ж шокований, як і будь-хто інший, коли вчені почали зближувати ідеальні форми на Землі з гелієм.

1911 року один голландсько-німецький учений¹ охолоджував ртуть рідким гелієм, коли виявив, що за температури нижче -269°C (-452°F) система втратила електричний опір і стала ідеальним провідником. Це було ніби так, як охолодити iPod до сотень градусів нижче нуля і виявити, що акумулятор залишається повністю зарядженим незалежно від того, наскільки довго чи голосно ви відтворювали музику, до нескінченності, поки гелій зберігає схему холодною. Російсько-канадська команда 1937 року утнула ще акуратніший трюк із чистим гелієм.²

Охолоджений до -271°C (-456°F) гелій перетворився на надплинну рідину з нульовою в'язкістю і нульовим опором потоку — цілковита невизначеність. Надплинний гелій кидає виклик гравітації і тече вгору і на стіни. У той час це було приголомшливою знахідкою. Учені часто роблять вигляд, що певні ефекти, як-от тертя, дорівнюють нулю, але тільки для спрощення розрахунків. На-

¹ Гейке Камерлінг-Оннес.— *Прим. перекл.*

² Опис надплинності опублікували 1938 року Петро Капиця і, незалежно від нього, Джон Аллен і Дон Мізенер.— *Прим. перекл.*

віть Платон не передбачив, що хтось насправді знайде одну з його ідеальних форм.

Гелій також є найкращим прикладом «елементарності» — речовини, яка не може бути розщеплена або змінена звичайними хімічними засобами. Ученим знадобилося 2200 років, від Греції 400 р. до н. е. до Європи 1800 року, щоби зрозуміти, якими є елементи насправді, тому що більшість із них дуже мінлива. Було важко з'ясувати, що зробило вуглець вуглецем, коли він з'явився в тисячах сполук, які мають різні властивості.

Сьогодні ми могли б сказати, що діоксид вуглецю, наприклад, не є елементом, тому що одна молекула ділиться на вуглець і кисень. Але вуглець і кисень є елементами, тому що ви не можете розділити їх більш тонко, не знищивши. Повертаючись до теми «Симпозіуму» та Платонової теорії еротичного томління за відсутньою половиною, ми виявляємо, що практично кожен елемент вишукує інші атоми, щоби сформувати з ними зв'язки — зв'язки, які маскують його природу. Навіть більшість «найчистіших» елементів, як-от молекули кисню в повітрі (O_2), завжди існують у природі як композити. Проте вчені могли б набагато швидше зрозуміти, що таке елементи, якби знали про гелій, котрий ніколи не реагує з іншою речовиною, ніколи не буває нічим іншим, як чистим елементом*.

Гелій поводить ся в такий спосіб з важливої причини. Усі атоми містять негативні частинки, звані електронами, що перебувають усередині атома на різних ярусах, або енергетичних рівнях. Рівні концентрично вкладені один в одний, і кожному з них потрібна певна кількість електронів, щоби він наповнився й почувався задоволеним. На внутрішньому рівні ця кількість — два. На інших рівнях зазвичай вісім. Елементи взагалі мають однакову кількість негативних електронів і позитивних частинок, званих протонами, тому вони електрично нейтральні. Однак атоми можуть вільно торгувати електронами між собою, і коли вони втрачають або отримують електрони, то перетворюються на заряджені атоми, які називаються іонами.

Важливо знати, що атоми заповнюють свої внутрішні, нижчі енергетичні рівні власними електронами максимально повно, а потім віддають сусідам, ділять із ними або крадуть у них електрони, щоби забезпечити потрібну кількість на своєму зовнішньому рівні. Деякі елементи діляться або торгують електронами дипломатично,

тоді як інші поводяться дуже, дуже кепсько. Це половина хімії в одному реченні: атоми, у яких не вистачає електронів на зовнішньому рівні, будуть битися, обмінювати за бартером, багатити, створювати й розривати альянси, коротше кажучи, робити будь-що, аби отримати правильну кількість.

Гелій, другий елемент, має саме таку кількість електронів, яка йому потрібна, щоби заповнити свій єдиний рівень. Ця «закрита» конфігурація надає гелію величезну незалежність, оскільки йому не треба взаємодіяти з іншими атомами або ділитися чи красти електрони, щоби відчути себе задоволеним. Гелій знайшов у собі своє еротичне доповнення. Ба більше, така сама конфігурація поширюється на весь вісімнадцятий стовпчик під гелієм — гази неон, аргон, криптон, ксенон та радон. Усі ці елементи мають закриті оболонки з повними комплектами електронів, тому жоден із них ні з чим не реагує за нормальних умов. Ось чому, попри всю гарячу активність щодо ідентифікації та маркування елементів у 1800-х, зокрема розробку самої періодичної таблиці, ніхто не виділяв жодного газу з вісімнадцятого стовпця аж до 1895 року. Ця відмінність від щоденного досвіду, така подібна до його ідеальних сфер і трикутників, зачарували би Платона. І це був саме той сенс, який намагалися підкреслити назвою «благородні гази» вчені, що відкривали гелій та його братів на Землі. Або викласти його в стилі Платона: «Той, хто обоює досконале й незмінне і зневажає тлінне та невидатне, безперечно, віддасть перевагу перед усіма іншими елементами благородним газам. Бо вони ніколи не змінюються, ніколи не коливаються, ніколи не погоджуються з іншими елементами, як то робить простолудин, пропонуючи дешеві товари на ринковій площі. Вони нетлінні та ідеальні».

Однак вічний спокій благородних газів є рідкісним. За один стовпець на захід розташовані найенергійніші та найреактивніші гази періодичної таблиці, галогени. І якщо ви вирішите згорнути таблицю, як карту Меркатора, так, щоби схід зустрівся із заходом, а вісімнадцятий стовпець — з першим, на західному краю виявляться ще лютіші елементи — лужні метали. Паціфістські благородні гази — це демілітаризована зона, оточена нестабільними сусідами.

Хоча лужні метали багато в чому є нормальними металами, проте, замість іржавіти або кородувати, вони можуть самовільно спалахувати в повітрі чи воді. До того ж лути утворюють альянс

інтересів із галогенами. Останні мають на своєму зовнішньому рівні сім електронів, на один менше від потрібного їм октету, тоді як лужні метали мають один електрон на зовнішньому рівні та повний октет на рівень нижче. Тож цілком природно, що другі скидають свій зайвий електрон першим, а отримані внаслідок цього позитивні та негативні іони утворюють міцні зв'язки.

Такий тип зв'язку відбувається постійно, і саме тому електрони є найважливішою частиною атома. Вони займають майже весь атомний простір, неначе хмари, що кружляють навколо компактної серцевини атома, ядра. Так воно і є, хоча компоненти ядра, протони та нейтрони, набагато більші, ніж окремі електрони. Якби атом збільшили до розміру стадіону, то багате на протони ядро було б тенісним м'ячем у середині поля. Електрони розміром зі шпилькові головки виблискували б навколо нього, але літали б так швидко і стукали у вас так багато разів за секунду, що ви взагалі б не змогли увійти на стадіон: вони відчувалися б наче міцна стіна. Як наслідок, щоразу, коли атоми торкаються один одного, поховане ядро мовчить; значення мають лише електрони*.

Одне швидке застереження: не надто прив'язуйтеся до зображення електронів як окремих шпилькових головок, що миготять навколо твердої серцевини. Або, у більш звичній метафорі, не обов'язково думати про електрони як про планети, що обертаються навколо ядерного сонця. Планетна аналогія є корисною, але, як і з будь-якою аналогією, з нею легко зайти занадто далеко, що з глибоким розчаруванням з'ясували деякі шановні вчені.

Зв'язки між іонами пояснюють, чому сполучення галогенів та лужних металів, як-от хлорид натрію (кухонна сіль), є загальними. Аналогічно елементи зі стовпця з двома зайвими електронами, як-от кальцій, і елементи зі стовпця, де потрібні два додаткові електрони, як-от кисень, часто об'єднуються. Це найпростіший спосіб задовольнити потреби кожного. Елементи з невідповідних стовпців також збігаються за тими самими законами. Два іони натрію (Na^+) беруть на себе один кисень (O^{2-}), утворюючи оксид натрію Na_2O . Хлорид кальцію CaCl_2 об'єднується з тих самих причин. Загалом, майже завжди можна з першого погляду сказати, як поєднуватимуться елементи, зазначивши номери їхніх стовпців та з'ясувавши їхні заряди. Усе це витікає з приємної дзеркальної симетрії таблиці ліворуч-праворуч.

На жаль, не все в періодичній таблиці настільки ж чисте та акуратне. Але відмінність деяких елементів насправді робить їх цікавими місцями для відвідування.

* * *

Є старий анекдот про асистента, який одного ранку вривається до кабінету вченого, істеричний від радості, попри ніч безперервної роботи. Він тримає закупорену пляшку з газованою, шиплячою, зеленою рідиною й вигукує, що відкрив універсальний розчинник. Його шеф-сангвінік придивляється до пляшки й запитує: «А що таке універсальний розчинник?» Помічник із жаром пояснює: «Кислота, яка розчиняє всі речовини!»

Почувши таку захопливу новину, — адже ця універсальна кислота не лише стане науковим дивом, але й зробить їх обох мільярдерами, — учений каже у відповідь: «А як же ти тримаєш її в скляній пляшці?»

Це гарна ударна фраза для анекдоту, і легко уявити, як Гілберт Льюїс посміхається, можливо, з гіркотою. Електрони керують періодичною таблицею, і ніхто не зробив більше за Льюїса, щоби з'ясувати, як вони поводяться й утворюють зв'язки в атомах. Його робота з вивчення електронів була особливо показовою стосовно кислот і основ, тому він оцінив би абсурдне твердження асистента. У більш особистому сенсі ударна кінцева фраза анекдота могла нагадати Льюїсу про те, якою нестійкою може бути наукова слава.

Мандрівник, Льюїс виріс у штаті Небраска, навчався в коледжі та аспірантурі в штаті Массачусетс близько 1900 року, а потім вирушив до Німеччини, до хіміка Вальтера Нернста. Життя під керівництвом Нернста виявилось настільки жалюгідним із низки законних і просто усвідомлених причин, що Льюїс повернувся до штату Массачусетс на академічну посаду вже за кілька місяців. Це теж виявилось невдалим рішенням, тому він перебрався до нещодавно завойованих Філіппін, щоби працювати на уряд США, узявши із собою лише одну книжку, «Теоретична хімія Нернста», тож проводив роки, докопуючись до коріння і нав'язливо публікуючи статті про кожну химерну помилку*.

Урешті-решт Льюїс засумував за батьківщиною й переселився до Каліфорнійського університету в Берклі, де за сорок років зробив місцевий хімічний факультет найкращим у світі. Хоча це може

здатися щасливим завершенням, воно таким не стало. Особливість Льюїса — це те, що він був, мабуть, найкращим ученим, який ніколи не отримував Нобелівської премії, і він це знав. Ніхто ніколи не отримував більше номінацій, але його неприховані амбіції та суперечки в усьому світі позбавили його шансів отримати достатньо голосів. Незабаром він почав подавати у відставку (або був змушений піти у відставку) з престижних посад на знак протесту і став гірким відлюдником.

Крім особистих причин, Льюїс ніколи не отримав би Нобелівської премії, тому що його робота була широкою, а не глибокою. Він ніколи не виявив жодної дивовижної речі, чогось такого, на що можна вказати та вигукнути: «Ого!» Натомість він провів своє життя, з'ясовуючи, як працюють електрони атома в багатьох контекстах, особливо в класі молекул, відомих як кислоти та основи. Загалом, коли атоми обмінюються електронами, щоби розірвати старі або утворити нові зв'язки, хіміки кажуть, що вони «реагують». Кислотно-основні реакції пропонують яскравий і часто насильницький приклад цих обмінів, і робота Льюїса над кислотами та основами зробила не менше, ніж ще чиясь, аби показати, що означає обмін електронами на субмікроскопічному рівні.

Приблизно до 1890 року вчені визначали кислоти та основи, дегустуючи їх на смак або занурюючи в них пальці, — не зовсім безпечні чи надійні методи. Протягом кількох десятиліть учені зрозуміли, що кислоти по суті є донорами протонів. Багато кислот містять водень — простий елемент, що складається з одного електрона, який обертається навколо одного протона (тобто це все, що водень має в ядрі). Коли кислота, як-от соляна (HCl), змішується з водою, вона розпадається на H^+ та Cl^- . Видалення негативного електрону з водню залишає просто голий протон H^+ , який плаває самостійно. Слабкі кислоти, як-от оцет, виділяють у розчин небагато протонів, тоді як сильні, як-от сірчана, просто затоплюють ними розчин.

Льюїс вирішив, що таке визначення кислоти занадто обмежує вчених, оскільки деякі речовини діють як кислоти, не покладаючись на водень. Тож Льюїс змінив парадигму. Замість сказати, що H^+ відокремлюється, він підкреслював, що це Cl^- тікає з його електроном. Отже, кислота — це не донор протонів, ні, кислота — це крадій електронів. І навпаки, донорами електронів можна назвати основи, як-от відбілювач або луг, які є протилежністю кислот. Ці

визначення, крім того, що вони більш загальні, підкреслюють поведінку електронів, яка краще відповідає електроннозалежній хімії періодичної таблиці.

Хоча Льюїс виклав цю теорію в 1920-х та 1930-х, учені все ще наполягають на тому, наскільки сильними вони можуть зробити кислоти, використовуючи його ідеї. Сила кислоти вимірюється шкалою рН, водночас менша кількість є сильнішою, і 2005 року один хімік із Нової Зеландії винайшов кислоту на основі бору, названу карбораном, з рН -18 . Для порівняння: вода має рН 7, а концентрована HCl у наших шлунках — рН 1. Але згідно з незвичними методами обчислення рН, падіння на одну одиницю (наприклад, від 4 до 3) збільшує кислотну силу в десять разів. Отже, перехід від шлункової кислоти (1) до кислоти на основі бору (-18) означає, що остання в десять мільярдів мільярдів разів сильніша. Приблизно стільки атомів треба укласти в рядок, щоби досягти Місяця.

Є ще гірші кислоти на основі стибію, елемента, що має, мабуть, найбарвистішу історію в періодичній таблиці*. Навуходоносор, цар, який збудував Вісячі Сади Семіраміди у Вавилоні в шостому столітті до н. е., використав отруйну сурм'яно-свинцеву суміш, щоби пофарбувати стіни свого палацу в жовтий колір. Можливо, не випадково, що він незабаром збожеволів, спав надворі в полях і їв траву, як той вол. Приблизно в той самий час єгипетські жінки застосовували іншу форму стибію як туш для вій — і для прикрашання обличчя, і для того, щоби надати собі відьомську силу, здатність кидати «лихе око» на ворогів. Пізніше середньовічні ченці — не кажучи вже про Ісаака Ньютона — стали одержимі думками про сексуальні властивості стибію й вирішили, що цей наполовину метал, наполовину ізолятор, ні те ні те, був гермафродитом. Сурм'яні пілюлі також здобули славу як проносні засоби. На відміну від сучасних таблеток, ці тверді пілюлі не розчинялися в кишівнику і вважалися настільки цінними, що люди вкопувалися в калові маси, щоби відшукати та повторно використати ліки. Деякі щасливі родини навіть передавали проносні засоби від батька до сина. Можливо, з цієї причини стибій отримав важку роботу як лікувальний засіб, хоча насправді є токсичним. Імовірно, Моцарт помер від його надмірного вживання для боротьби з важкою лихоманкою.

Нарешті вчені знайшли краще застосування для стибію. До 1970-х вони зрозуміли, що здатність накопичувати навколо себе жадібні

до електронів елементи робить з нього чудовий засіб для створення нестандартних кислот. Результати були такими ж приголомшливими, як і надплинність гелію. Змішуючи пентафторид стибію, SbF_5 із фтороводневою кислотою HF , отримують речовину з $pH = -31$. Ця суперкислота у 100 000 мільярдів мільярдів мільярдів разів потужніша, ніж соляна кислота, і проходить крізь скло так само безжально, як вода крізь папір. Ви не могли б навіть взяти пляшку з-під неї, бо після того, як роз'їсть скло, кислота розчинить і вашу руку. Відповідь на запитання професора з анекдота було знайдено: її зберігають у спеціальних контейнерах з тефлоновим покриттям.

Чесно кажучи, називати суміш стибію найсильнішою кислотою у світі — це такий собі спосіб обману. Самі собою SbF_5 (крадій електронів) і HF (протонний донор) досить неприємні. Але вам доведеться ретельно сортувати їхні суміші, перш ніж вони досягнуть суперкислотного стану. Вони найсильніші лише за особливих, штучно створених обставин. Насправді найсильнішою чистою кислотою все ще є карборан на основі бору ($CB_{11}Cl_{11}$). І ця борна кислота й досі має найкращі сумарні властивості: це одночасно найміцніша та найм'якіша кислота у світі. Щоб узяти таке в голову, згадайте, що кислоти розщеплюються на позитивні та негативні частини. У випадку з карбораном ви отримуєте H^+ та складну структуру, схожу на клітку, утворену всім іншим ($CB_{11}Cl_{11}^-$).

У більшості кислот саме негативна частина кородує, роз'їдає та проїдає шкіру. Але борова клітка утворює одну з найстабільніших із будь-коли винайдених молекул. Її атоми бору ділять електрони настільки щедро, що вона практично перетворюється на гелій і не кидається виривати електрони з інших атомів, що є звичайною причиною кислотної різанини.

Тож для чого корисний карборан, якщо не розчиняти скляні пляшки або проїдати наскрізь банківські сховища? Він може, наприклад, збільшити октанове число бензину й допомогти зробити вітаміни засвоюваними. Більш важливим є його використання в хімічній «колісці». Багато хімічних реакцій, що використовують протони, не є чистими та швидкими обмінами. Вони потребують декількох кроків, і протони передаються за мільйонні частки мільярдних часток секунд — так швидко, що вчені не мають уявлення, що насправді сталося. Однак карборан, оскільки він такий стійкий і неактивний, затоплює розчин протонами, а потім заморожує

молекули у вирішальних проміжних точках. Карборан підтримує проміжні види на м'якій, безпечній подушці. І навпаки, зі стибієвих суперкислот виходять жакливі колиски, бо вони роздирають на шматки саме ті молекули, які вченим найбільше бажано роздивитися. Льюїс із задоволенням побачив би це та інші використання своєї роботи з електронами та кислотами, і це могло б осяяти останні темні роки його життя. Хоча він виконував урядові завдання під час Першої світової війни і зробив цінний внесок у хімію ще до того, як йому виповнилося шістдесят, його не запросили в «Мангеттенський проект» під час Другої світової. Це образило його, оскільки багато хіміків, яких він завербував до Берклі, зіграли важливу роль у створенні першої атомної бомби і стали національними героями. А він, навпаки, тинявся під час війни без цілі, занурившись у спогади та написавши задумливий роман про солдата. 1946 року Льюїс помер на самоті у своїй лабораторії.

Існує загальна думка, що після викурювання двадцяти з гаком сигар на день протягом сорока з гаком років Льюїс помер від серцевого нападу. Але важко було не помітити, що в день його смерті в лабораторії пахло гірким мигдалем — ознакою ціанідного газу. Льюїс використовував ціанід у своїх дослідженнях, і, можливо, він упустив балон із ним після того, як у нього прихопило серце. До того ж Льюїс обідав того дня — хоча спочатку відмовлявся від запрошення — з молодшим, більш харизматичним хіміком-суперником, який отримав Нобелівську премію і був спеціальним консультантом «Мангеттенського проекту». У головах деяких людей завжди ворушилися думки, що шановний колега, можливо, вивів Льюїса з рівноваги. Якщо це правда, його знайомство з хімією могло бути і зручним, і нещасливим.

На додаток до реакційноздатних металів на західному узбережжі та галогенів і благородних газів уздовж узбережжя східного, періодична таблиця містить «Великі рівнини», що тягнуться просто її серединою, стовпці з третього по дванадцятий — перехідні метали. Якщо чесно, перехідні метали мають таку хімію, котра хоч кого введе із себе, тому важко щось сказати про них узагалі — окрім «будь обережний». Розумієте, більш важким атомам, як у перехідних металів, притаманна більша, ніж в інших атомів, гнучкість у тому, як вони зберігають свої електрони. Як і всі атоми, вони мають різні енергетичні рівні (позначені номерами один, два, три тощо), при-

чому нижні заховані під вищими. І вони також борються з іншими атомами, щоби забезпечити заповнення зовнішніх енергетичних рівней вісьмома електронами. Однак зрозуміти, що вважається зовнішнім рівнем, досить складно.

Коли ми просуваємося періодичною таблицею горизонтально, кожен елемент має на один електрон більше, ніж його сусід ліворуч. Натрій, елемент одинадцять, зазвичай має одинадцять електронів; магній, елемент дванадцять, має дванадцять електронів і так далі. Коли елементи збільшуються за розмірами, вони не лише сортують електрони за енергетичними рівнями, а ще й складають ці електрони в різні форми, що зветься оболонками. Але атоми, за вдачею необразливі та поступливі, заповнюють оболонки та енергетичні рівні в тому ж порядку, як ми рухаємося таблицею. Елементи в лівій частині таблиці поміщають перший електрон в *s*-оболонку, яка є сферичною. Вона мала і вміщує лише два електрони, що пояснює два більш високі стовпці з лівого боку. Для наступних електронів атоми шукають щось просторіше. Перестрибуючи через проміжок, елементи в стовпцях праворуч починають один за одним упаковувати нові електрони в *p*-оболонку, що схожа на нерозвинену легеню. Така оболонка може втримувати шість електронів, отже, шість вищих стовпців з правого боку таблиці. Зауважте, що в кожному рядку вгорі два електрони *s*-оболонки плюс шість електронів *p*-оболонки складають разом вісім електронів, ту кількість, яку більшість атомів хоче мати в зовнішній оболонці. І, за винятком самозадоволених благородних газів, електрони зовнішньої оболонки всіх цих елементів доступні для скидання на інші атоми або взаємодії з ними. Такі елементи поведуться логічно: додайте новий електрон, і поведінка атома буде змінюватися, оскільки тепер він має більше електронів, доступних для участі в реакціях.

Тепер щодо розчарування. У стовпцях із третього по дванадцятий, із четвертого по сьомий рядки з'являються перехідні метали й починають подавати електрони в так звані *d*-оболонки (ці оболонки ні на що не схожі, хіба що на фантастичних тварин, зроблених із повітряних кульок). Виходячи з того, що робив кожен попередній елемент зі своїми оболонками, ви очікуєте, що перехідні метали перенесуть кожен зайвий електрон *d*-оболонки на видне місце в зовнішньому енергетичному рівні, щоби цей додатковий електрон також був доступний для реакцій. Але ні, перехідні мета-

ли відкладають свої зайві електрони про запас і вважають за краще ховати їх під іншими рівнями. Рішення перехідних металів порушити конвенцію та закопувати свої електрони d -оболонки здається не вигідним і супротивним інтуїції — Платону це не сподобалося б. Що ж, природа працює ще й так, і нічого тут не поробиш.

Утім, цей процес має свої переваги. Зазвичай, коли ми рухаємося таблицею горизонтально, додавання одного електрона до кожного перехідного металу змінює його поведінку, як це відбувається з елементами в інших частинах таблиці. Але оскільки такі метали ховають свої електрони d -оболонки в щось на кшталт ящиків із фальшивим дном, ці електрони зрештою захищені. Інші атоми, які намагаються реагувати з такими металами, не можуть дістатися до цих електронів, і зрештою багато металів у рядку залишають відкритими однакову кількість електронів. Тому в хімічному сенсі вони діють однаково. Ось чому, з наукового погляду, багато металів неможливо розрізнити на вигляд, і діють вони так само однаково. Усі вони холодні й сірі грудочки, тому що їхні зовнішні електрони не залишають їм іншого вибору. (Звичайно, просто для того, щоб усе заплутати, інколи заховані електрони піднімаються і реагують. Саме це спричиняє невеликі відмінності між деякими металами. Ось чому їхня хімія настільки дратує.)

Елементи з f -оболонками такі ж непорядні. Ці оболонки починають з'являтися в першому з двох вільно плаваючих рядків металів під періодичною таблицею, у групі, що називається лантаноїди. (Їх також називають рідкоземельними, і відповідно до своїх атомних чисел — від п'ятдесяти семи до сімдесяти одного — вони дійсно належать до шостого рядку. Їх опустили, щоби зробити таблицю простішою за формою і менш громіздкою.) Лантаноїди ховають нові електрони ще глибше, ніж перехідні метали, часто аж на два енергетичні рівні нижче. Це означає, що вони ще більше схожі один на одного, ніж перехідні метали, і їх ледве можна розрізнити між собою. Рухатися рядком — це як їхати з Небраски до Південної Дакоти і не усвідомлювати, що перетинаєш кордони штатів.

Неможливо знайти в природі чистий зразок якогось лантаноїду, оскільки «брати» завжди його забруднюють. В одному добре відомому випадку хімік у Нью-Гемпширі намагався виділити тулій, елемент шістдесят дев'ять. Він розпочав із величезних горщиків, що містили запіканку з руди, багатої тулієм, і неодноразово обробляв

руду хімікатами й кип'ятив її — процес, який щоразу невеликою мірою очищав тулий. Розчинення тривало так довго, що спочатку хімік міг робити лише один-два цикли на день. Але він вручну повторив цей копіткий процес п'ятнадцять тисяч разів і відсіяв сотні фунтів руди аж до унцій, перш ніж чистота його задовольнила. Навіть тоді ще було невелике перехресне забруднення іншими лантаноїдами, електрони яких було заховано так глибоко, що просто не вистачило хімічної «ручки», щоби схопити їх і витягнути.

Поведінка електронів керує періодичною таблицею. Але щоби насправді розуміти елементи, ви не можете ігнорувати частину, яка складає понад 99 % їхньої маси,— ядро. І хоча електрони підкоряються законам найбільшого вченого, котрий ніколи не отримував Нобелівської премії, ядро підкоряється диктату, мабуть, найбільш неймовірного Нобелівського лауреата всіх часів, жінки, чия кар'єра була навіть більш кочовою, ніж у Льюїса.

Марія Гепперт народилася в Німеччині 1906 року. Попри те що її батько був професором у шостому поколінні, у Марії виникли проблеми з науковим ступенем — як то можна зробити доктором філософії жінку? — тому вона переходила зі школи до школи, читаючи лекції де могла. Нарешті вона здобула докторську ступінь у Ганноверському університеті, захистивши дисертацію перед професорами, яких ніколи не зустрічала. Не дивно, що жоден університет не наймав її, жінку без жодних рекомендацій чи зв'язків, після завершення навчання. Вона могла увійти в науку лише обхідним шляхом, завдяки своєму чоловікові Джозефу Маєру, американському професору хімії, який відвідував Німеччину. Переїхавши до Балтімора 1930 року, свіжоспечена Гепперт-Маєр почала мандрувати разом з Маєром посадами та конференціями. На жаль, чоловік кілька разів утрачав роботу під час Великої депресії, і сім'я дрейфувала до університетів Нью-Йорка, а потім Чикаго.

Більшість шкіл терпіли, що Гепперт-Маєр вештається навколо і говорить на наукові теми. Деякі навіть зглянулися на те, щоб дати їй роботу, хоча платити відмовилися, а теми були стереотипно «жіночими», наприклад з'ясувати, що спричиняє кольори. Після закінчення Великої депресії сотні інтелектуально рівних їй учених зібрали для «Мангеттенського проекту», можливо, найжвавішого обміну науковими ідеями. Гепперт-Маєр отримала запрошення взяти участь, але периферійно, у безперспективному побічному

проекті з розщеплення урану миготливими вогнями. Без сумніву, це її дуже дратувало, але вона настільки прагнула науки, що продовжувала працювати в таких умовах. Після Другої світової війни Чиказький університет нарешті сприйняв її досить серйозно, щоби зробити професором фізики. Хоча вона отримала власний офіс, факультет усе ще їй не платив.

Проте, умотивована призначенням, 1948 року вона розпочала роботу над ядром — серцевиною і сутністю атома. Усередині ядра кількість позитивних частинок, протонів, — атомне число — визначає ідентичність атома. Інакше кажучи, атом не може набирати або втрачати протони, не стаючи іншим елементом. Атоми зазвичай не втрачають і нейтронів, але атоми одного елемента можуть мати різну кількість нейтронів — варіації, які називаються ізотопи. Наприклад, ізотопи свинець-204 та свинець-206 мають однакові атомні номери (82), але різну кількість нейтронів (122 та 124). Атомне число плюс кількість нейтронів називається атомна маса. Ученим знадобилося багато років, щоби з'ясувати залежність між атомним числом і атомною масою, але тільки-но вони це зробили, науковий зміст періодичної таблиці став набагато зрозумілішим.

Усе це, звичайно, знала Гепперт-Маєр, але її робота торкнулася таємниці, яку було важче зрозуміти, оманливо простої проблеми. Найпростіший елемент у Всесвіті, водень, також є і найпоширенішим. Другий найпростіший елемент, гелій, є другим за кількістю. В естетично охайному Всесвіті третій елемент, літій, був би третім найпоширенішим тощо. Та наш Усесвіт не охайний. Третій найпоширеніший елемент — кисень, елемент вісім. Але чому? Науковці можуть відповісти, що кисень має дуже стійке ядро, тому він не дезінтегрується і не «розпадається». Але це лише відсунуло питання назад — чому певні елементи, як-от кисень, мають такі стабільні ядра?

На відміну від більшості своїх сучасників, Гепперт-Маєр бачила тут паралель із неймовірною стійкістю благородних газів. Вона припустила, що протони та нейтрони в ядрі сидять в оболонках так само, як електрони, і що заповнення ядерних оболонок приводить до стабільності. Для сторонніх це здається розумною, приємною аналогією. Але Нобелівські премії не присуджують за домисли, особливо від неоплачуваних професорів-жінок. Ба більше, ця ідея розгнівала ядерних науковців, оскільки хімічні та ядерні процеси

незалежні. Немає жодних причин, щоби надійні, такі домашні нейтрони та протони, поводитись як крихітні, примхливі електрони, котрі покидають своє житло заради привабливих сусідів. І переважно вони цього не роблять.

Окрім Гепперт-Маер, яка дотримувалася своєї думки і, зібравши разом кілька непов'язаних експериментів, довела, що ядра дійсно мають оболонки й дійсно утворюють те, що вона назвала «магічні ядра». Зі складних математичних причин магічні ядра не з'являються періодично, як елементарні властивості. Магія відбувається за атомних чисел два, вісім, двадцять, двадцять вісім, п'ятдесят, вісімдесят два тощо. Робота Гепперт-Маер показала, як за таких чисел протони і нейтрони вишиковуються у високостійкі високосиметричні сфери. Зауважте також, що вісім протонів і вісім нейтронів кисню роблять його подвійно магічним і, отже, вічно стабільним, що пояснює його, здавалося б, надмірну кількість. Ця модель також одразу пояснює, чому елементів, як-от кальцій (двадцятий), непропорційно багато, і тому не є випадковим, що наші органи використовують ці легкодоступні мінерали.

Теорія Гепперт-Маер перегукується з думкою Платона про те, що красиві форми є більш досконаліми, а її модель магічного ядра у формі кулі стала ідеальною формою, за якою оцінюються всі ядра. І навпаки, елементи, що опинилися далеко між двома магічними числами, присутні в меншій кількості, оскільки вони утворюють потворні довгасті ядра. Науковці навіть виявили постраждалі від нейтронного голоду форми гольмію (елемент шістдесят сім), які породжують деформоване, хитке «футбольне ядро». Як ви можете здогадатися за моделлю Гепперт-Маер (або колись спостерігаючи, як хтось промахується під час футбольної гри), футбольні м'ячі з гольмію не дуже стійкі. І, на відміну від атомів з неврівноваженими електронними оболонками, атоми зі спотвореними ядрами не можуть привласнювати нейтрони та протони з інших атомів, щоби збалансувати себе. Тож атоми з нерозвиненими ядрами, як та форма гольмію, майже ніколи не утворюються, а якщо все ж утворюються, то негайно розпадаються.

Модель ядерної оболонки — це блискуча фізика. Ось чому, без сумніву, Гепперт-Маер була дуже розчарована, беручи до уваги її нестійкий стан серед науковців, коли виявила, що цю саму модель продублювали фізики-чоловіки на її батьківщині. Вона ризикувала

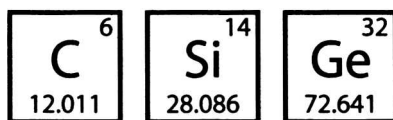
все втратити. Однак обидві сторони виробили цю ідею незалежно, і, коли німці люб'язно визнали її роботу й запросили до співпраці, кар'єра Гепперт-Маєр пішла вгору. Вона здобула власні відзнаки і разом із чоловіком остаточно переїхала 1959 року до Сан-Дієго, де розпочала справжню оплачувану роботу в новому кампусі Каліфорнійського університету. Проте вона так ніколи і не змогла позбутися тавра дилетантки. Коли 1963 року Шведська академія оголосила, що Гепперт-Маєр завоювала найвищу відзнаку у своїй професії, місцева газета привітала її великий день заголовком «Матінка із Сан-Дієго отримала Нобелівську премію».

Але, можливо, усе це лише питання конкретного погляду. Газети могли мати подібний принизливий заголовок про Гілберта Льюїса, і він, мабуть, був би в захваті.

Читання кожного рядка періодичної таблиці дає багато інформації про елементи, але це лише частина історії, до того ж не найкраща. Елементи в тому самому стовпці, сусіди на одній довготі, насправді набагато тісніше пов'язані, ніж горизонтальні сусіди. Люди звикли читати зліва направо (або навпаки) практично кожною людською мовою, але читання періодичної таблиці вгору та вниз, стовпець за стовпцем, як у деяких формах японської мови, насправді є більш значущим. Воно виявляє багатий підтекст відносин між елементами, зокрема несподівані суперництво та антагонізми. У періодичній таблиці є власна граматики, і читання між її рядками розкриває зовсім нові історії.

2

Майже близнюки та чорна вівця: генеалогія елементів



Шекспір мав справу з «*honorificabilitudinitatibus*» — що, залежно від того, кого ви запитуєте, або означає «стан завантаженості відзнаками», або є анаграмою, яка стверджує, що п'єси Шекспіра справді написав Френсіс Бекон, а не Бард*. Але це слово, усього двадцять сім букв, і близько не стоїть до того, аби вважати його найдовшим в англійській мові.

Звичайно, визначити найдовше слово — це як спробувати пливти проти течії. Ви, найвірогідніше, утратите контроль, оскільки мова — річ плинна й постійно змінює напрям. Навіть те, що кваліфікується як англійська, відрізняється в різних контекстах. Слово, вимовлене блазнем у комедії Шекспіра «Марні зусилля кохання», очевидно, походить із латини. Але, можливо, іноземних слів, навіть в англійських реченнях, не слід урахувувати. Плюс, якщо ви порахуєте слова, які нічого не означають і просто складають до купи суфікси та префікси («*antidisestablishmentarianism*», двадцять вісім літер), або безсенсовні слова («*supercalifragilisticexpialidocious*», тридцять чотири літери), письменники можуть тягти читачів уздовж рядка доти, доки їхні руки не судомить.

Але якщо ми приймемо розумне визначення — найдовше слово, виявлене в англійському документі, яке не мало на меті встанови-

ти рекорд найдовшого слова всіх часів,— тоді те, що ми шукаємо, з'явилося 1964 року в «Хімічних рефератах», подібному до словника джерелі посилань для хіміків. Це слово описує важливий білок, який історики взагалі вважають найпершим з відкритих вірусів (1892 рік) — вірус тютюнової мозаїки. Вдихніть глибше...

acetylseryltyrosylserylisoleucylthreonylserylprolylserylglutaminylphenylalanylvalylphenylalanylleucylserylserylvalyltryptophylalanylasparylprolylisoleucylglutamylleucylleucylasparaginyvalylcysteinylthreonylserylserylleucylglycylasparaginyglutaminylphenylalanylglutaminylthreonylglutaminylglutaminylalanylarginylthreonylthreonylglutaminylvalylglutaminylglutaminylphenylalanylserylglutaminylvalyltryptophyllsylprolylphenylalanylprolylglutaminylserylthreonylvalylarginylphenylalanylprolylglycylaspartylvalyltyrosyllsylvalyltyrosylarginyltyrosylasparaginyalanylvalylleucylaspartylprolylleucylisoleucylthreonylalanylleucylleucylglycylthreonylphenylalanylasparylthreonylarginylasparaginylarginylisoleucylisoleucylglutamylvalylglutamylasparaginylglutaminylglutaminylserylprolylthreonylthreonylalanylglutamylthreonylleucylaspartylalanylthreonylarginylarginylvalylaspartylaspartylalanylthreonylvalylalanylisoleucylarginylserylalanylasparginylisoleucylasparaginylleucylvalylasparaginylglutamylleucylvalylarginylglycylthreonylglycylleucyltyrosylasparaginylglutaminylasparaginylthreonylphenylalanylglutamylserylmethionylserylglycylleucylvalyltryptophylthreonylserylalanylprolylalanylserine.

Ця анаконда налічує 1185 літер*.

А тепер, оскільки ніхто з вас, мабуть, не зробив більше, ніж промайнув очима через «*acetyl... serine*», поверніться і погляньте знову. Ви помітите щось дивне в розділенні літер. Найпоширеніша літера англійської мови, *e*, з'являється 65 разів; незвична літера у зустрічається 183 рази. На одну літеру, *l*, припадає 22 % слова (255 випадків). І *y*, і *l* не з'являються випадково, але часто поруч — 166 пар, через кожні сім літер або близько того. Така картина не є випадко-

вою. Це довге слово описує білок, а білки складаються із шостого (і найбільш універсального) елемента періодичної таблиці, вуглецю.

Зокрема, вуглець утворює хребет амінокислот, що нанизуються, як намистини, утворюючи білки. (Білок вірусу тютюнової мозаїки складається зі 159 амінокислот.) Біохіміки, оскільки їм часто доводиться підраховувати отакі великі кількості амінокислот, каталогізують їх за простим лінгвістичним правилом. Вони вирізають *ine* (ин) в амінокислотах, як-от серин або ізолейцин, і змінюють його на *yl* (ил), роблячи його відповідним звичайним лічильником: серил або ізолейцил. Узяті за порядком, ці зв'язані закінчення *ил* слова чітко описують структуру білка. Так само, як непрофесіонали можуть бачити складне слово «турборежим» і розуміти його значення, біохіміки у 1950-х та на початку 1960-х давали молекулам офіційні назви, як-от «ацетил... серин», щоби мати змогу реконструювати всю молекулу за самою назвою. Система була точною, хоч і виснажливою. Тенденція до об'єднання слів, що виникла історично, відображає сильний вплив, який Німеччина та схиблена на з'єднаннях німецька мова мали на хімію.

Але чому амінокислоти взагалі згуртовуються? Через місце вуглецю в періодичній таблиці та його потребу заповнювати зовнішній енергетичний рівень вісьмома електронами, емпіричне правило, яке називається «правило октету». Агресивність атомів і молекул у пошуках пари різниться, а амінокислоти належать до більш цивілізованих сполук. Кожна амінокислота містить атоми кисню на одному кінці, азоту — на іншому і стовбур із двох атомів вуглецю посередині. (Вони також містять водень і відгалужену від основного стовбура гілку, яка може налічувати двадцять різних молекул, але це нас зараз не стосується.) Вуглець, азот та кисень — усі хочуть мати вісім електронів на зовнішньому рівні, але одному з цих елементів легше, ніж іншим. Кисень, елемент вісім, має вісім загальних електронів. Два належать до найнижчого енергетичного рівня, який заповнюється першим. Це залишає шість на зовнішньому рівні, тому кисень завжди шукає два додаткові електрони. Два електрони не так важко знайти, і агресивний кисень може диктувати свої умови та знущатися над іншими атомами. Але ця ж арифметика показує, що в бідного вуглецю, елемента шість, залишилося чотири електрони після заповнення першої оболонки, і тому для отримання восьми потрібно ще чотири. Це складніше

зробити, і наслідок полягає в тому, що вуглець має дійсно низькі стандарти формування зв'язків. Він причеплюється практично до чого завгодно.

Ця нерозбірливість є чесною вуглецю. На відміну від кисню, вуглець повинен утворювати зв'язки з іншими атомами в будь-якому можливому для нього напрямі. І фактично вуглець ділить свої електрони одночасно з кількома атомами, аж до чотирьох. Це дозволяє йому будувати складні ланцюги або навіть тривимірні мережі молекул. А оскільки вуглець розділяє електрони з іншими атомами, а вкрасти їх не може, зв'язки, котрі він утворює, є надійними та стабільними. Азот також повинен утворювати кілька зв'язків, щоби постійно почуватися щасливим, хоча і не тією ж мірою, що вуглець. Описані раніше білки, подібні анаконді, просто користуються цими елементарними фактами. Один атом вуглецю в стовбурі амінокислоти ділиться електроном з атомом азоту в задній частині іншої, і білки виникають, коли ці сполучні атоми нанизуються у все більшій кількості *ad infinitum*, як букви в дуже-дуже довгому слові.

Насправді вчені нині можуть декодувати набагато довші молекули, ніж «ацетил... серин». Поточний рекорд — гігантський білок, назва котрого, якщо її записати, містить аж 189 819 літер. Але протягом 1960-х, коли з'явилися засоби швидкого підрахунку амінокислот у послідовності, учені зрозуміли, що незабаром вони отримають хімічні назви розміром із цю книжку (перевірка правопису такої читанням уголос буква за буквою була би справжньою мукою). Тож вони відмовилися від громіздкої німецької системи й повернулися до коротших, менш вигадливих назв, навіть для офіційних цілей. Наприклад, молекула зі 189 819 літер тепер милосердно відома як тітин*. Загалом, видається сумнівним, що хтось коли-небудь спробує опублікувати назву, довшу за повне ім'я білка мозаїчного вірусу.

Це не означає, що честолюбні лексикографи не повинні й далі придивлятися до біохімії. Медицина завжди була благодатним джерелом до смішного довгих слів, і найдовше нетехнічне слово в «Оксфордському словнику англійської мови» зазвичай базується на ближчому хімічному кузені вуглецю, елементі, котрий часто згадують як альтернативу заснованому на вуглеці життю в інших галактиках — елементі номер чотирнадцять, кремнії (він же силіцій).

У генеалогії батьки на вершині сімейного дерева відтворюють дітей, схожих на них, і так само вуглець має більше спільного з елементом під ним, кремнієм, ніж із двома горизонтальними сусідами, бором та азотом. Ми вже знаємо причину. Вуглець — це елемент номер шість, а кремній — номер чотирнадцять, і цей розрив у вісім (іще один октет) не є випадковим. У кремнію два електрони заповнюють перший енергетичний рівень, а вісім — другий. Це залишає ще чотири електрони — тож кремній перебуває в тому ж дуже складному стані, що й вуглець. Але перебування в цій ситуації дає кремнію також і деяку вуглецеву гнучкість. А оскільки вуглецева гнучкість безпосередньо пов'язана з його здатністю утворювати життя, здатність кремнію імітувати вуглець зробила його мрією поколінь шанувальників наукової фантастики, зацікавлених в альтернативних — тобто чужих — способах життя, життя, яке відповідає не таким правилам, як земне. Водночас генеалогія — це не фатум, оскільки діти ніколи не є точною копією своїх батьків. Отже, хоча вуглець і кремній дійсно тісно пов'язані, вони є різними елементами, які утворюють різні сполуки. І на жаль для шанувальників наукової фантастики, кремній просто не може виконувати такі дивовижні трюки, як вуглець.

Як не дивно, ми можемо дізнатися про обмеження кремнію, проаналізувавши ще одне рекордне слово — слово, яке розтягується на смішну довжину з тієї ж причини, що і назва згаданого вище білка на основі вуглецю, котра містить 1185 літер. Чесно кажучи, цей білок має якусь формульну назву, так само цікаву здебільшого своєю новизною, як обчислення числа «пі» до трильйонів знаків. На відміну від нього, найдовше нетехнічне слово в «Оксфордському словнику англійської мови» — це сорокап'ятилітерне *pneumonoultramicroscopicsilicovolcanoconiosis*, хвороба, яка має в основі «кремній». Логологи (тобто схибнуті на словах) на своєму сленгу називають *pneumonoultramicroscopicsilicovolcanoconiosis* просто «p45», але існує суто медичне питання, чи є p45 справжнім захворюванням, оскільки це лише варіант невиліковного стану легенів, який називається *pneumoconiosis* (p16). P16 нагадує пневмонію і є одним із захворювань, спричинених вдиханням азбесту. Вдихання діоксиду кремнію, основної складової піску та скла, також може спричинити це захворювання. Будівельні робітники, які протягом цілого робочого дня виконують піскоструминне очищення поверхонь,

а також робітники складальних ліній ізоляційних установок, що вдихають скляний пил, часто страждають від *p16* на основі кремнію. А оскільки діоксид кремнію (SiO_2) є найпоширенішим мінералом у земній корі, чутливою є ще одна група: люди, які живуть поблизу активних вулканів. Найпотужніші вулкани роздроблюють діоксид кремнію на малесенькі часточки й мегатонами викидають його в повітря. Ці часточки схильні потрапляти в легеневі альвеоли. Оскільки наші легені регулярно мають справу з автомобільним діоксидом вуглецю, вони не бачать нічого поганого в поглинанні його двоюрідного брата SiO_2 — а це може бути смертельним. Багато динозаврів, можливо, померли з такої ж причини, коли 65 мільйонів років тому сталося зіткнення із Землею астероїда або комети розміром із мегаполіс.

Зважаючи на це, розбір префіксів і суфіксів *p45* тепер має бути набагато простішим. Захворювання легенів, спричинене вдиханням дрібного вулканічного кремнезему, коли люди прискорено дихають, тікаючи з місця події, природно називають пневмоультра-мікроскопічно-силіко-вулкано-коніоз. Перш ніж ви почнете вимовляти це слово в розмові, знайте, що багато мовних пуристів відчувають до нього огиду. Хтось вигадав *p45*, аби виграти конкурс головоломок 1935 року, і дехто все ще глузує, що це «призове слово». Навіть високоповажні редактори «Оксфордського словника англійської мови» лихословлять *p45*, визначаючи його як «дратівливе слово», яке лише «нібито має лексичне значення. Ця огида виникає тому, що *p45* просто розповсюдилося замість «справжнього» слова. *P45* було створене штучно, замість органічно піднятися з повсякденної мови.

Заглиблюючися далі в кремній, ми можемо дослідити, наскільки виправдані гіпотези щодо життя на його основі. Хоча «кремнієве життя» такий самий звичний штамп у науковій фантастиці, як і «променева зброя», воно є важливою ідеєю, оскільки розширює наше вуглецевоцентричне уявлення про потенціал життя. Шанувальники кремнію можуть навіть указати на декількох тварин на Землі, які використовують у своєму тілі кремній, як-от морські їжаки з кремнієвими шипами та одноклітинні радіолярії, які кують із кремнію екзоскелетні обладунки. Успіхи в обчислювальній техніці та штучному інтелекті також дозволяють припустити, що кремній може формувати настільки ж складні «мізки», як і будь-

які на вуглецевій основі. Теоретично немає причин, які не дозволили б вам замінити кожен нейрон у своєму мозку кремнієвим транзистором.

Але р45 дає уроки з практичної хімії, що руйнують надії на кремнієве життя.

Очевидно, що кремнієвим життєвим формам потрібно було б вводити кремній у свої тіла і виводити з них, щоби відновити тканини, подібно до того, як земні істоти переносять вуглець. На Землі істоти, що є основою харчового ланцюга (у багатьох аспектах — найважливіші форми життя), можуть робити це за допомогою газоподібного діоксиду вуглецю, тобто вуглекислого газу. Кремній у природі теж майже завжди зв'язується з киснем, зазвичай як SiO_2 . Але, на відміну від вуглекислого газу, діоксид кремнію (навіть як дрібний вулканічний пил) — це, за будь-якої хоча б віддалено придатної для життя температури, тверда речовина, а не газ (і не стає газом аж до 4000°F , тобто 2200°C !). На рівні клітинного дихання тверді речовини просто не працюють, оскільки тверді речовини злипаються. Вони не течуть, і клітинам дуже важко отримати необхідні їм окремі молекули. Навіть рудиментарне кремнієве життя, еквівалентне пливці на поверхні води в ставку, матиме труднощі з диханням, а більшим живим формам з декількома шарами клітин було б іще гірше. Без способів обміну газами з навколишнім середовищем кремнієве життя рослинного типу голодувало б, а кремнієвих тварин задушували б відходи, як наші легені на вуглецевій основі задушують хвороба р45.

Чи могли б ці кремнієві мікроби виганяти або всмоктувати той діоксид кремнію, чи то кремнезем, іншими способами? Можливо, але кремнезем не розчиняється у воді, найпоширенішій рідині у Всесвіті на сьогоднішній день. Тож цим істотам довелося б відмовитися від еволюційних переваг крові або будь-якої іншої рідини, щоби транспортувати поживні речовини та відходи. Істотам на основі кремнію довелося б покладатися на тверді речовини, які погано змішуються, тому неможливо уявити, що кремнієві форми життя могли б *зробити* хоч щось.

Крім того, оскільки кремній набирає більше електронів, ніж вуглець, він об'ємніший, наче вуглець із п'ятдесятьма зайвими кілограмами. Іноді це не проблема. Кремній може адекватно замінити вуглець у марсіанському еквіваленті жирів або білків. Але

вуглець також перетворюється на кільцеві молекули, які ми називаємо цукрами. Кільця — це стан високої напруги, і це означає, що вони накопичують багато енергії, а кремній просто недостатньо еластичний, щоб зігнутись у потрібне для утворення кільця положення. Унаслідок цього атоми кремнію не можуть вичавити свої електрони в тісні проміжки для подвійних зв'язків, які з'являються практично у всіх складних біохімічних сполуках. (Коли два атоми ділять два електрони, це одиночний зв'язок. Ділення чотирьох електронів — це подвійний зв'язок.) Життя, що базується на кремнії, матиме сотні недостатніх варіантів для зберігання хімічної енергії та продукування хімічних гормонів. Загалом, лише радикальна біохімія могла б підтримувати кремнієве життя, яке дійсно росте, реагує, відтворюється та атакує. (Морські їжаки та радіолярії використовують кремнезем лише для структурної підтримки, а не для дихання чи зберігання енергії.) І той факт, що на Землі розвивалося життя на основі вуглецю, хоча його набагато менше, ніж кремнію, сам собою є майже головним доказом*. Я не такий дурний, аби передрікати, що кремнієва біологія неможлива, але якщо ці істоти не дефекують піском і не живуть на планетах, де вулкани постійно викидають ультрамікроскопічний кремнезем, то цей елемент, імовірно, не здатний вирішувати завдання підтримання життя.

На щастя для себе, кремній забезпечив власне безсмертя в інший спосіб. Як і вірус, квазіживе створіння, він нишком заповз в еволюційну нішу й вижив, паразитуючи в жертві — елементі під ним.

Існують і подальші генеалогічні уроки з вуглецево-кремнієвого стовпця періодичної таблиці. Під кремнієм виявляємо германій. Під германієм ми несподівано знаходимо олово. Ще на рядок нижче — свинець. Рухаючись просто вниз періодичною таблицею, ми переходимо від вуглецю, елемента, відповідального за життя, до кремнію та германію, елементів, відповідальних за сучасну електроніку, до олова, тьмяно-сірого металу, що використовується для консервування кукурудзи, і до свинцю, елемента, більш-менш ворожого до життя. Кожен крок невеликий, та це добра ілюстрація, що хоча елемент може нагадувати той, який перебуває над ним, але накопичуються невеликі мутації.

Ще один урок полягає в тому, що в кожній родині є чорна вівця, хтось, від кого решта рядка більшою чи меншою мірою відмовилась. У чотирнадцятому стовпці це германій, вибачте, нещасливий елемент. Ми використовуємо кремній у комп'ютерах, мікросхемах, машинах і калькуляторах. Кремнієві напівпровідники відправляють людей на Місяць і керують інтернетом. Але якби шістьдесят років тому все пішло інакше, ми сьогодні могли б говорити про Германієву долину на півночі Каліфорнії.

Сучасна напівпровідникова індустрія розпочалася 1945 року в «Лабораторії Белла» у штаті Нью-Джерсі, за декілька миль від того місця, де Томас Алва Едісон за сімдесят років до цього створив свою фабрику винаходів. Інженер-електрик та фізик Вільям Шоклі намагався побудувати невеликий кремнієвий підсилювач для великих комп'ютерів замість електронних ламп. Інженери ненавиділи лампи, оскільки видовжені скляні оболонки, схожі на освітлювальну лампочку, були громіздкими, крихкими та схильними до перегріву. Усією душею зневажаючи їх, інженери потребували цих ламп, бо ніщо інше не могло виконати подвійного обов'язку: лампи і підсилювали електронні сигнали, тому слабкі сигнали не вмирали, і діяли як односторонні клапани для електрики, тому електрони в електричних колах не могли потекти назад. (Уявіть, що ваші каналізаційні труби пропускають... е-е... вміст... в обох напрямках, і тоді зможете оцінити потенційні проблеми.) Шоклі вирішив зробити з електронними лампами те, що Едісон зробив зі свічками, і він знав, що відповідь — це напівпровідні елементи: тільки вони зможуть досягти потрібного інженерам балансу, пропускаючи достатню кількість електронів для запуску електричного кола (частина «провідник»), але не так багато, щоби неможливо було керувати електронами (частина «напів»). Проте Шоклі був більше фантазером, ніж інженером, і його кремнієвий підсилювач ніколи нічого не підсилював. Розчарувавшись після двох безплідних років, він перекинув завдання на двох своїх підлеглих, Джона Бардіна та Волтера Браттейна.

За словами одного біографа, Бардін і Браттейн «любили один одного настільки, наскільки можуть двоє чоловіків... Здавалося, Бардін був мозком цього спільного організму, а Браттейн — руками»*. Цей симбіоз був зручним, оскільки Бардін, саме для якого, можливо, було вигадане прізвисько «яйцеголовий», мав не такі вмілі руки.

Невдовзі спільний організм визначив, що кремній занадто крихкий, аби працювати як підсилювач, та й очищувати його важко. До того ж вони знали, що германій, зовнішні електрони якого сидять на більш високому енергетичному рівні, ніж у кремнії, і тому зв'язані не так сильно, проводить електрику більш плавно. Використовуючи германій, Бардін і Браттейн побудували перший у світі твердотільний (на відміну від вакуумного) підсилювач у грудні 1947 року. Вони назвали його транзистором.

Це повинно було вразити Шоклі — адже того року на Різдво він був у Парижі, тому йому важко було стверджувати, що він зробив свій внесок у винахід (не кажучи вже про те, що Шоклі використав неправильний елемент). Тож Шоклі вирішив викрасти успіх Бардіна та Браттейна. Він не вважав себе безчесною людиною, але став безжальним, коли переконався, що має рацію, і був упевнений, що заслуговує левову частину успіху у створенні транзистора. (Ця безсумнівна переконаність виникла пізніше, у роки занепаду Шоклі, після того як він відмовився від твердотільної фізики заради «науки» евгеніки — розведення кращих людей. Він повірив у брамінську касту інтелігенції й почав підтримувати грошима «банк геніальної сперми»* та виступати за те, щоби бідним людям та меншинам платили за стерилізацію й припинення розрідження колективного IQ людства.)

Поспіхом повернувшись із Парижу, Шоклі знову вклинився в транзисторну картинку, часто буквально. На опублікованих «Лабораторію Белла» світлинах, де зображено трьох чоловіків, що нібито працюють, він завжди стоїть між Бардіном та Браттейном, розсікаючи спільний організм і тримаючи руки на приладдях, змушуючи інших двох заглядати через плече, ніби просто помічників. Ці картинки стали новою реальністю, і загальне наукове співтовариство визнало заслугу всіх трьох чоловіків. Наче дрібний принц у своєму феоді, Шоклі також вигнав свого головного інтелектуального суперника Бардіна в іншу, не пов'язану з ним лабораторію, аби він, Шоклі, міг розробити друге, більш комерційне покоління германієвих транзисторів. Не дивно, що Бардін незабаром покинув «Лабораторію Белла», аби зайняти академічну посаду в штаті Іллінойс. Насправді він відчував таку відразу, що відмовився від досліджень напівпровідників.

Германію також не пощастило. До 1954 року транзисторна галузь процвітала. Потужність комп'ютерів зросла на порядок, з'явилися

цілі нові лінійки продуктів, як-от кишенькові радіостанції. Але впродовж усього буму інженери ніжно поглядали на кремній.

Частково вони робили це тому, що германій був примхливим. Хоч як добре він проводив електричний струм, але також генерував небажане тепло, примушуючи транзистори відмовляти за високих температур. І що ще важливіше, кремній, основний компонент піску, був, як то кажуть, дешевше бруду. Науковці все ще залишалися вірними прихильниками германію, але вони витрачали дуже багато часу, фантазуючи про кремній.

Аж раптом на торговій напівпровідниковій конференції того ж року, після похмурої промови про нездійсненність кремнієвих транзисторів, підвівся якийсь зухвалий інженер із Техасу й оголосив, що насправді він має такий у кишені. Чи не бажав би натовп демонстрації? Цей новий Ф. Т. Барнум — справжнє ім'я Гордон Тіл — неначе великий циркач підключив германієвий програвач до зовнішніх динаміків і, зовсім вже середньовічно, занурив його нутро до чана з киплячою олією. Як і слід було очікувати, нещасний пристрій захлинувся й помер. Виловивши ті нутроці, Тіл витяг із них германієвий транзистор і замінив його кремнієвим. Знову плюхнув його в олію. Оркестр продовжив грати! На той момент, коли шалений натовп торговців дістався до платних телефонів у задній частині конференційної зали, германій було скинуто з трону.

На щастя для Бардіна, його частина історії закінчилася вдало, хоч і незграбно. Його робота з германієвими напівпровідниками виявилася настільки важливою, що 1956 року він, Браттейн і, зітхнемо, Шоклі отримали Нобелівську премію з фізики. Одного чудового ранку Бардін почув новину на своєму радіоприймачі (на той час, імовірно, кремнієвому) під час смаження яечні. Розгублений, він упустив сімейний сніданок на підлогу. Це був не останній його огріх, пов'язаний із Нобелівською премією. За кілька днів до церемонії нагородження у Швеції він виправ офіційну білу краватку-метелик разом із кольоровими речами, через що та набула зеленого кольору, як це міг би вчинити хтось із його студентів-першокурсників. А в день церемонії він і Браттейн настільки розхвилювалися перед зустріччю зі шведським королем Густавом I, що наковталися хініну, аби заспокоїти живіт. Це, мабуть, не допомогло, бо коли Густав докорив Бардіну за те, що той, замість привезти своїх синів до Швеції, змусив їх залишитися в Гарварді (учений

боявся, що вони можуть пропустити залік), Бардін не дуже вдало пожартував, що, ха-ха, він привезе їх, коли наступного разу отримуватиме Нобелівську премію.

Якщо ж забути про огріхи, церемонія стала кульмінаційним моментом для напівпровідників, хоча й недовгим. Шведська академія наук, яка вручає Нобелівські премії з хімії та фізики, у той час прагнула надавати перевагу чистим науковим дослідженням перед інженерними, а перемога транзистора — рідкісне визнання прикладної науки. Проте до 1958 року транзисторна промисловість стикнулася з черговою кризою. І коли Бардін покинув поле, двері лишилися відчиненими для іншого героя.

Незабаром кризь цей отвір пройшов Джек Кілбі, хоча йому, мабуть, довелося нахилитися (він мав шість футів шість дюймів зросту, а це ж без двох сантиметрів два метри). Канзасець із повільною манерою говорити і шкірястим обличчям, Кілбі провів десятиліття у високотехнологічній глухомані (Мілвокі), перш ніж 1958 року влаштувався на роботу в *Texas Instruments (TI)*. Хоча Кілбі навчався електротехніці, найняли його для розв'язання проблеми апаратного забезпечення комп'ютера, відомої як тиранія чисел. Загалом дешеві кремнієві транзистори працювали нормально, але складні комп'ютерні схеми вимагали їх у величезній кількості. Це означало, що компанії типу *TI* мусили використовувати цілі ангари низькооплачуваних техніків, переважно жінок, які весь день робили тільки одне: схилившись над мікроскопами, лаялися та пітніли в костюмах зі шкідливої матерії, припаюючи один до одного шматочки кремнію. Окрім того, що цей процес дорого коштував, він був неефективним. У кожній схемі один із таких кволик проводків неминуче розривався або ламався, і весь ланцюг не міг працювати. Але інженери не могли скоротити цю велику кількість транзисторів — оце й була тиранія чисел.

Кілбі прибув до *TI* спекотним техаським червнем. Як новий працівник він ще не мав права на відпустку, тож коли в липні всі тисячі робітників пішли на обов'язкові канікули, він залишився один за своїм столом. Благословенна тиша, без сумніву, переконувала його, що використання тисяч людей для з'єднання транзисторів між собою — це осяляча дурість, а відсутність керівників дала йому вільний час для здійснення нової ідеї, яку він назвав інтегральною схемою. Кремнієві транзистори були не єдиними елементами

схеми, які потрібно було з'єднувати вручну. Вугільні резистори та порцелянові конденсатори також мали бути сполучені тонким, мов спагеті, мідним дротом. Кілбі відкинув цю систему з окремих елементів, а замість неї вирізав усе — усі резистори, транзистори та конденсатори — з одного твердого блоку напівпровідника. Це була чудова ідея — різниця, конструктивна й художня, між висіканням статуї з одного блоку мармуру та вирізанням кожної кінцівки окремо з наступним намаганням прилаштувати їх дротинами одна до одної в єдину статую. Не довіряючи чистоті кремнію для виготовлення резисторів та конденсаторів, у своєму прототипі Кілбі звернувся до германію.

Зрештою, ця інтегральна схема звільнила інженерів від свавілля ручного приєднання електропроводів. Оскільки шматки було зроблено з одного блоку, нікому не довелося їх спаювати разом. Фактично, незабаром ніхто навіть не міг би їх спаяти, адже інтегральна схема також дозволила інженерам автоматизувати процес вирізання та виготовлення мікроскопічних наборів транзисторів — перших справжніх комп'ютерних мікросхем, чипів. Кілбі ніколи не отримав всіх почесей за свій винахід (один із протеже Шоклі подав конкурентну і трохи детальнішу патентну заявку за кілька місяців і позбавив прав компанію Кілбі), але сьогоднішні комп'ютерники все ще віддають Джеку Кілбі данину поваги за інженерні досягнення. У галузі, яка вимірює цикли виробництва місяцями, чипи все ще — за п'ятдесят років! — виробляють із використанням його базового дизайну. І 2000 року Кілбі отримав запізнілу Нобелівську премію за свою інтегральну схему*.

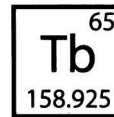
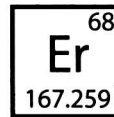
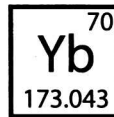
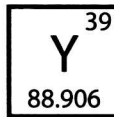
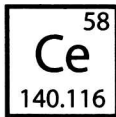
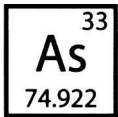
Але, на жаль, ніщо не могло відновити репутацію германію. Оригінальну германієву схему Кілбі виставлено в Смітсонівському інституті, але на ринку, де в хід ідуть голі кулаки, германій було побито. Кремній був занадто дешевим і занадто доступним. Сер Ісаак Ньютон колись чудово сказав, що досяг усього, ставши на плечі велетнів — науковців, на відкриттях яких він побудував своє вчення. Те саме можна сказати і про кремній. Після того як германій зробив усю роботу, кремній став іконою, а германій було вислано в безвість періодичної таблиці.

Насправді це загальна доля періодичної системи. Більшість елементів незаслужено анонімні. Навіть імена вчених, які відкрили багато з них і розмістили в перших періодичних таблицях, давно

забуті. Однак кілька імен, як і кремній, досягли загальної популярності — і не завжди з найкращих причин. Усі вчені, що працювали над ранніми періодичними таблицями, визнавали подібності серед деяких елементів. Хімічні «тріади», як-от приклад вуглецю, кремнію та германію, були першим натяком на існування періодичної системи. Але деякі вчені виявилися більш чутливими, ніж інші, розпізнаючи тонкощі — риси, котрі проходять крізь родини періодичної таблиці, як-от ямочки або криві носи в людей. Знання, як простежити та передбачити такі подібності, незабаром дозволило одному вченому, Дмитру Менделєєву, увійти в історію як батькові періодичної системи елементів.

3

Галапагоські острови періодичної системи



Можна сказати, що історія періодичної таблиці — це історія багатьох персонажів, які її формували. Перший наш герой мав одне з імен, відомих з історичних (і не тільки) книжок, як, наприклад, Етьєн де Сілуєт, або генерал Галіфе, або — з більш сучасних — Чарлз Макінтош, Генрі Форд, Луї Шевроле, Леон Наган, що змушують вас посміхнутися, думаючи: невже хтось насправді відкликається на таке... Цей піонер періодичної таблиці заслуговує на особливу похвалу, оскільки названий його ім'ям пальник зробив можливими більше ефектних дослідів, ніж будь-яке лабораторне обладнання в історії. На наше розчарування, німецький хімік Роберт Бунзен фактично не винайшов «свій» пальник, а просто вдосконалив конструкцію й популяризував його в середині XIX століття. Навіть без цього пальника Бунзену вдалося наповнити своє життя багатьма небезпеками і катастрофами.

Першим коханням Бунзена був арсен. Попри те що елемент номер тридцять три з давніх часів мав ту ще репутацію (римські вбивці мали звичай намазувати його на інжир), мало хто із законослухняних хіміків багато знав про арсен, перш ніж Бунзен почав розмазувати його по пробірках. Він працював переважно з какодилами

на основі арсену, хімічними речовинами, назва яких заснована на грецькому слові «смердючий». Какодили так мерзенно пахнуть, що, за словами Бунзена, викликали в нього галюцинацію, «створюючи миттєве поколювання рук і ніг, навіть запаморочення та непритомний стан». Язик його «покрився чорним нальотом». Можливо, через власну зацікавленість він незабаром розробив дієвий і найкращий аж до наших днів антидот у разі отруєння арсеном, гідрат оксиду заліза, хімічну речовину, пов'язану з іржею, яка захоплює арсен у крові та виводить його з організму. Проте Бунзен не міг захищати себе від кожної небезпеки. Спричинений недбалістю вибух скляної мензурки з арсеном майже вирвав його праве око й залишив напів сліпим на останні шістдесят років життя.

Після цього нещасного випадку Бунзен відклав арсен подалі й дозволив собі задовольнятися природними вибухами. Учений любив усе, що вибивалося із Землі, і кілька років досліджував гейзери та вулкани, вручну збираючи їхні випари та киплячі рідини. Він також побудував у своїй лабораторії модель «Старого Служаки» — уславленого гейзера в Єллоустонському національному парку — і виявив, як гейзери накопичують тиск і здійснюють викид. Бунзен повернувся до хімії в Гейдельберзькому університеті в 1850-х і незабаром забезпечив собі наукове безсмертя, винайшовши спектроскоп, який використовує для вивчення елементів світло. Кожен елемент періодичної таблиці створює внаслідок нагрівання чіткі вузькі смуги кольорового світла. Наприклад, водень завжди випромінює одну червону, одну жовтувато-зелену, одну ясно-блакитну та одну смугу індиго. Якщо ви нагріваєте якусь загадкову речовину, і вона випромінює ці конкретні лінії, то можете битися об заклад, що вона містить водень. Це був потужний прорив, перший спосіб заглянути всередину екзотичних сполук, не кип'ятячи їх і не розкладаючи кислотою.

Щоби побудувати перший спектроскоп, Бунзен і його студент змонтували призму всередині викинутої коробки з-під сигар, аби уникнути розсіяного світла, і прикріпили два окуляри від телескопів, щоби дивитися всередину, як на діораму. Єдине, що обмежувало спектроскопію в той момент,— це отримання полум'я, достатньо гарячого для збудження елементів. Тож Бунзен гідно винайшов пристрій, який зробив його героєм для всіх, хто колись розплавляв лінійку або запалював олівець у вогні. Він узяв примітивний

газовий пальник місцевого техника і додав кран для регулювання потоку кисню. (Якщо ви пам'ятаєте, як крутили ручку на нижній частині свого пальника Бунзена, то це саме той кран.) Як наслідок, полум'я пальника покращилося від неефективного помаранчевого, що ліниво потріскувало, до охайного шиплячого синього, яке ви бачите на хороших газових плитах сьогодні.

Робота Бунзена допомогла періодичній системі розвиватися швидше. Хоча він виступив проти ідеї класифікації елементів за їхніми спектрами, інші вчені мали менше вагань, і спектроскоп негайно почав ідентифікувати нові елементи. Так само важливо, що це допомогло розібратися з помилковими претензіями, знайшовши старі елементи, замасковані під невідомі речовини. Надійна ідентифікація відкрила хімікам довгий шлях до кінцевої мети — розуміння матерії на більш глибокому рівні. І все ж таки, крім пошуку нових елементів, ученим потрібно було організувати їх в якийсь генеалогічне дерево. І отут ми підходимо до іншого великого внеску Бунзена до таблиці — його допомоги в побудові інтелектуальної династії в науці Гейдельберга, де він навчив кількох людей, відповідальних за ранню роботу щодо періодичного закону. До них належить наш другий герой, Дмитро Менделєєв, чоловік, загально визнаний творцем першої періодичної таблиці.

Насправді, подібно до Бунзена й пальника, Менделєєв не створив першу періодичну таблицю самостійно. Шість людей винайшли її незалежно, і всі вони спиралися на «хімічні спорідненості», визначені попереднім поколінням хіміків. Менделєєв почав з грубої ідеї, як згрупувати елементи в невеликі синонімічні набори, потім перетворив ці незграбні кроки в періодичній системі на науковий закон — подібно до того, як Гомер перетворив розрізнені грецькі міфи на «Одіссею». Наука потребує героїв так само, як і будь-яка інша сфера людської діяльності, і Менделєєв став головним героєм історії періодичної системи з низки причин.

По-перше, він мав пекельну біографію. Менделєєв, народжений у Сибіру, молодший із чотирнадцяти¹ дітей, утратив батька 1847 року, коли хлопцеві було тринадцять. Його мати, сміливо на той час, узяла на себе управління місцевою склянню фабрикою, щоби підтримувати сім'ю, і керувала майстрами-чоловіками, які там працювали. Потім фабрика згоріла. Поклавши сподівання на гострий розум свого сина,

¹ За іншою інформацією — із сімнадцяти.— Прим. перекл.

вона укутала його тепліше, посадила на коня і проїхала дванадцять сотень миль степами та крутими й засніженими Уральськими горами до елітного університету в Москві, який відмовив Дмитру, бо той не був місцевим мешканцем. Непохитна мати Менделєєва укутала його знову і проїхала ще чотириста миль, до альма-матер загиблого батька в Санкт-Петербурзі. Вона померла¹ після того, як побачила його ім'я в списках студентів.

Менделєєв виявився геніальним учнем. Після закінчення² він навчався в Парижі та Гейдельберзі, де ним керував видатний Бунзен (вони сварилися, почасти через похмуру вдачу Менделєєва, а почасти через горезвісну засмічену й вонючу лабораторію Бунзена). Менделєєв повернувся до Петербурга як професор у 1860-х і там почав замислюватися над природою елементів; кульмінацією цієї роботи стала знаменита періодична таблиця 1869 року.

Багато інших учених працювали над проблемою впорядкування елементів, а деякі навіть розв'язували її, хоч і стримано, за тим самим підходом, що й Менделєєв. В Англії хімік на ім'я Джон Ньюлендс, якому не було навіть тридцяти років, представив хімічному суспільству свою оригінальну таблицю 1865 року. Але риторична помилка прирекла Ньюлендса. У той час про благородні гази (від гелію до радону) ніхто не знав, тож у верхніх рядах його періодичної таблиці містилося лише сім одиниць. Ньюленд не дуже серйозно порівняв сім колонок із музичною гамою до-ре-мі-фа-соль-ля-сі-до. На жаль, Хімічне товариство Лондона не було несерйозною аудиторією, і вони висміяли «какофонічну» хімію Ньюлендса.

Більш серйозним суперником Менделєєва був Юліус Лотар Меєр, німецький хімік з непокірною білою бородою й акуратно напomadженим чорним волоссям. Меєр також працював у Бунзена в Гейдельберзі та мав серйозні професійні дані. Крім усього іншого, він зрозумів, що еритроцити транспортують кисень, зв'язуючи його з гемоглобіном. Меєр опублікував свою таблицю практично одночасно з Менделєєвим, і 1882 року вони навіть розділили престижну переднобелівську премію під назвою «медаль Деві» за сумісне розкриття «періодичного закону». (Це була англійська премія, але Ньюлендс отримав медаль Деві 1887 року.) Якщо Меєр продовжував велику роботу, що додало йому репутації (він допоміг

¹ За кілька тижнів.— *Прим. перекл.*

² Головного педагогічного інституту в Санкт-Петербурзі.— *Прим. перекл.*

популяризувати ряд радикальних теорій, які виявилися правильними), то Менделеев виявився ексцентричним диваком, котрий, — неймовірно! — відмовлявся вірити в реальність атомів*. (Пізніше він також відкине інші речі, яких не міг бачити, наприклад електрони та радіоактивність.) Якби ви оцінювали цих двох чоловіків близько 1880 року й судили, хто з них більший теоретик, ви могли обрати Меєра. То що відділяло Менделеева від Меєра та чотирьох інших хіміків, які опублікували таблиці перед ними, принаймні на думку історії?*

По-перше, Менделеев, більше ніж будь-який інший хімік, зрозумів, що певні властивості елементів зберігаються, навіть якщо інші — ні. Він зрозумів, що сполука оксид ртуті (помаранчева тверда речовина) «не містить» газу, кисню, та рідкого металу, ртуті, як вважали інші. Радше, оксид ртуті містить два елементи, які перетворюються на газ та метал під час розділення. Що залишається постійним — це атомна маса кожного елемента, яку Менделеев уважав його визначальною властивістю, що дуже близько до сучасного погляду.

По-друге, на відміну від інших, хто намагався впорядкувати елементи у стовпці та рядки, Менделеев працював у хімічних лабораторіях усе своє життя і здобув глибоке, дуже глибоке знання про те, який вигляд мають елементи, як пахнуть і як реагують, особливо метали, найбільш неоднозначні та складні елементи, коли справа доходить до їх розміщення в таблиці. Це дозволило йому внести всі шістдесят два відомі елементи у свої стовпці та рядки. Менделеев також нав'язливо переглядав свою таблицю, знову і знову записував елементи на індексних картках і розкладав своєрідний хімічний пасьянс у своєму кабінеті. Найголовніше — хоч і Менделеев, і Меєр залишали у своїх таблицях прогалини, до яких не пасували відомі елементи, — у Менделеева, на відміну від вразливого Меєра, вистачило сміливості, щоби передбачити, що нові елементи буде знайдено. «Ви, хіміки та геологи, дивіться краще, — здавалося, насміхався він, — і ви їх відшукаєте». Простежуючи властивості відомих елементів у кожному стовпці, Менделеев навіть передбачив густини й атомні маси прихованих елементів, і коли деякі прогнози виявлялися правильними, люди ставали неначе загіпнотизованими. Ба більше, коли вчені в 1890-х виявили благородні гази, таблиця Менделеева пройшла вирішальне випробування, оскільки

легко вмістила ці гази, додавши один новий стовпець. (Менделєєв заперечував, що благородні гази існували спочатку, але на той час періодична таблиця вже не була лише його.)

А ще був непереборний характер Менделєєва. Як і його російський сучасник Достоевський — який за три тижні написав увесь роман «Гравець», щоби погасити відчайдушні карткові борги,— Менделєєв створив свою першу таблицю, щоб укластися в термін видавця підручників. Він уже написав першу частину підручника, п'ятсотсторінковий том, але описав лише вісім елементів. Це означало, що він повинен був умістити всі інші в другий том. Після шести тижнів зволікання Менделєєв в один натхненний момент вирішив, що найбільш стислий спосіб подання інформації — це таблиці. Збуджений, він покинув свою додаткову роботу на посаді хіміка-консультанта місцевих сирзаводів заради складання таблиці. Коли книжка з'явилась у друку, Менделєєв не лише передбачив, що нові елементи займуть порожні комірки під кремнієм і бором, але й дав їм тимчасові назви. Його репутації не могло б зашкодити (у непевні часи люди шукають гуру), що він застосовував для створення цих імен екзотичну й містичну мову, використовуючи санскритське слово замість *за межами*: ека-кремній, ека-бор тощо.

За кілька років Менделєєв, тепер уже відомий, розлучився зі своєю дружиною і хотів одружитися повторно. Хоча консервативна місцева церква сказала, що йому доведеться чекати сім років, він підкупив священника і взявся за шлюбні справи. Це технічно зробило його двоєнцем, але ніхто не наважився його заарештувати. Коли місцевий бюрократ поскаржився цареві на подвійний стандарт, застосований до справи,— священника було позбавлено духовного сану — цар відверто відповів: «Я визнаю, у Менделєєва є дві дружини, але в мене лише один Менделєєв». Але терпіння царя не було нескінченним. 1890 року Менделєєва, самозваного анархіста, було звільнено з академічної посади за симпатії до насильницьких лівих студентських груп.

Неважко зрозуміти, чому історики та вчені прив'язалися до життєвої казки Менделєєва. Звичайно, сьогодні ніхто не пам'ятав би його біографії, якби він не створив свою періодичну таблицю. Загалом, робота Менделєєва порівнянна з роботою Дарвіна стосовно еволюції та Айнштайна щодо відносності. Жоден із цих чоловіків не робив усієї справи, але вони виконували найбільшу роботу

і вчиняли це більш елегантно, ніж інші. Вони побачили, як далеко поширюються наслідки, і підкріпили свої висновки за допомогою маси свідочств. І, як Дарвін, Менделєєв своєю працею нажив собі постійних ворогів. Називання елементів, яких він ніколи не бачив, було зухвалим, і це спричиняло розлучення інтелектуального спадкоємця Роберта Бунзена — людини, яка відкрила «ека-алюміній» і справедливо відчула, що саме вона, а не розгульний росіянин, заслужила почесні й права на іменування.

* * *

Відкриття ека-алюмінію, тепер відомого як галій, ставить питання про те, що насправді рухає науку вперед — теорії, котрі визначають, як людям бачити світ, або експерименти, найпростіші з яких можуть зруйнувати елегантну теорію. Після скандалу з теоретиком Менделєєвим експериментатор, який відкрив галій, отримав певну відповідь. Поль Еміль Франсуа Лекок де Буабодран народився 1838 року у виноробній родині в регіоні Коньяк, Франція. Гарний, із хвилястим волоссям та завитими вусами, схильний носити стильні краватки, він переїхав до Парижу вже дорослим, освоїв Бунзенів спектроскоп і став найкращим спеціалістом зі спектроскопії у світі.

Лекок де Буабодран настільки захопився, що 1875 року, помітивши ніколи раніше не бачені кольорові смуги в спектрі мінералу, дійшов миттєвого і правильного висновку, що відкрив новий елемент. Він назвав його галієм, на честь Галлії, латинської назви Франції. (Любителі теорії змов звинуватили його в хитрій назві елемента на честь себе, оскільки Лекок, або «півень», латиною називається *gallus*.) Лекок де Буабодран вирішив, що хоче потримати в руках й відчути свій новий приз, тому взявся за очищення зразка. Минуло кілька років, і 1878 року у француза нарешті з'явився гарний, чистий шматок галію. Хоча галій твердий за помірної кімнатної температури, він плавиться при 84 °F, тобто 28,9 °C, і це означає: якщо потримати його в долоні (оскільки температура людського тіла становить близько 98 °F; 36,6 °C), він розплавиться в зернисту, густу калюжу псевдортуті. Це один із небагатьох рідких металів, до яких можна торкнутися, не обпікши палець до кістки. Як наслідок, галій від того часу став невід'ємною частиною жартів серед хімічних експертів, певним кроком уперед від гумору Бунзенівського

пальника. Один популярний трюк, оскільки галій легко формується і схожий на алюміній,— це робити ложки з галію, подавати їх до чаю і спостерігати, як ваші гості відсахуються, коли їхній *Earl Gray* «з'їдає» столове приладдя*.

Лекок де Буабодран повідомив про свої висновки в наукових журналах, по праву пишаючися своїм примхливим металом. Галій був першим новим елементом, виявленим після публікації таблиці Менделєєва 1869 року, і коли теоретик Менделєєв прочитав про роботу Лекока де Буабодрана, то намагався влізти в чергу й вимагати отримання почесней за галій, ґрунтуючись на своєму передбаченні ека-алюмінію. Лекок де Буабодран рішуче й лаконічно відповів, що ні, це він зробив справжню роботу. Менделєєв протестував, і от француз та росіянин почали обговорювати цю справу в наукових журналах, як у серіалі, де різні персонажі по-своєму розповідають ту саму історію. Невдовзі дискусія стала ганебною. Роздратований карканням опонента, Лекок де Буабодран стверджував, що якийсь скромний француз розробив періодичну таблицю раніше Менделєєва і що росіянин узурпував ідеї цього чоловіка — науковий гріх, що поступається лише підробці даних. (Менделєєв ніколи не любив ділитися славою. Меєр, навпаки, посилався на таблицю Менделєєва у власній роботі 1870-х, яка, можливо, могла створити у пізніших поколіннях уявлення, що робота Меєра є похідною.)

Менделєєв, зі свого боку, вивчив дані Лекока де Буабодрана щодо галію і без жодних доказів сказав експериментатору, що той, мабуть, виміряв щось не так, оскільки густина й маса галію відрізнялися від його прогнозів. Це спровокувало жажливу кількість жовчі, але, як стверджував філософ та історик науки Ерік Скеррі, Менделєєв завжди «готовий був нагнути природу до своєї грандіозної філософської схеми». Єдина відмінність Менделєєва від схиблених психів полягала в тому, що Менделєєв мав рацію: Лекок де Буабодран незабаром відкликав свої дані та опублікував результати, що підтверджували прогнози Менделєєва. За словами Скеррі, «науковий світ був вражений тим, що теоретик Менделєєв бачив властивості нового елемента чіткіше, ніж хімік, який його відкрив». Учителю літератури одного разу сказав мені: головне, що робить оповідь чудовою,— а створення періодичної таблиці є чудовою оповіддю — це кульмінація, яка є «дивною, але неминучою». Я підозрюю, що, ви-

явивши свою грандіозну схему періодичної таблиці, Менделєєв здивувався — але також переконався в її правдивості завдяки елегантній, невідворотній простоті. Недарма він інколи п'янів від сили, яку відчував.

Якщо залишити осторонь науковий *мачизм*, то справжню дискусію тут було зосереджено на питанні: теорія чи експеримент? Чи то теорія налаштувала почуття Лекока де Буабодрана, щоби допомогти йому побачити щось нове? Чи то експеримент надав справжні докази, а теорія Менделєєва просто якось до них припасувалася? Менделєєв міг із тим же успіхом пророчити наявність сиру на Марсі¹, проте саме Лекок де Буабодран знайшов галій, що свідчив на користь періодичної таблиці. Знову ж таки, французу довелося відкликати свої дані та видати нові результати, які підтверджували те, що передбачив Менделєєв. Хоча Лекок де Буабодран заперечував, що колись бачив таблицю Менделєєва, можливо, він чув щось від інших, або ж таблиця викликала розмови серед наукової спільноти і в такий спосіб опосередковано спонукувала вчених уважніше стежити за новими елементами. Як колись сказав не менш геніальний Альберт Айнштейн, «це теорія визначає, що саме ми спостерігаємо».

Зрештою, напевно неможливо визначити, чи то верхки та корінці теорії, чи то експерименти зробили більше для просування науки вперед. Це особливо правильно, якщо згадати, що Менделєєв зробив багато хибних прогнозів. Насправді йому дуже пощастило, що спочатку такий серйозний учений, як Лекок де Буабодран, відкрив ека-алюміній. Якби хтось поцупив одну з його помилок,— а Менделєєв стверджував, що перед воднем ще є багато елементів, і клявся, що сонячна корона містить унікальний елемент під назвою коронній,— росіянин, можливо, помер би у невідомості. Але так само, як наші пращури прощали давнім астрологам, які вигадували хибні, навіть суперечливі гороскопи й фіксували натомість одну яскраву комету, котру вони точно передбачили, люди зазвичай пам'ятають лише триумфи Менделєєва. Ба більше, спрощуючи історію, привабливо віддати Менделєєву, а також Меєру та іншим занадто багато честі. Вони зробили важливу роботу з будівництва решітки, на яку прибивали елементи; але до 1869 року було виявлено лише дві тре-

¹ Деякі ділянки поблизу південного полюса Марса нагадують рельєфом швейцарський сир.— *Прим. перекл.*

тини всіх елементів, і роками деякі з них сиділи в неправильних стовпцях і рядках навіть у найкращих таблицях.

Ще дуже багато роботи відокремлювало Менделєєва від сучасного підручника, особливо щодо хаосу елементів, які зараз перебувають у карантині внизу таблиці,— лантаноїдів. Вони починаються з лантану, елемента номер п'ятдесят сім, і їхніє належне розташування в таблиці збивало з пантелику й бісило хіміків аж до середини ХХ століття. Їхні приховані електрони призводять до того, що лантаноїди згуртовуються разом; їх сортування схоже на розплутування кудзу чи плюща. Спектроскопія також спіткнулася на лантаноїдах, оскільки навіть якби вчені виявили десятки нових кольорових смуг, вони не мали б уявлення, скільки нових елементів пов'язано з ними. Навіть Менделєєв, який не соромився передбачень, вирішив, що лантаноїди надто проблематичні, щоби висувати здогадки щодо них. 1869 року було відомо мало елементів крім церію, другого лантаноїду. Але, замість в'язнути в усе більшій кількості «ека», Менделєєв визнав свою безпорадність. Після церію він, розширюючи свою таблицю, рядок за рядком позначав пунктиром гірки розчарування. І пізніше, додаючи нові лантаноїди після церію, він часто переставляв їх з місця на місце, почасти тому, що багато «нових» елементів виявлялися комбінаціями відомих. Ніби церій був для Менделєєва й науковців його кола краєм відомого світу (подібно до Гібралтару для давніх мореплавців) і після цього елемента вони ризикували потрапити у вир або стекти з краю Землі.

Насправді Менделєєв міг би впоратися зі всіма своїми турботами та розчаруваннями, якби подолав лише кілька сотень миль на захід від Санкт-Петербурга. Там, у Швеції, поблизу місця, де вперше було відкрито церій, він натрапив би на непоказну порцелянову шахту в хуторі зі смішною назвою Іттербю.

1701 року підліток-хвалько на ім'я Йоганн Фрідріх Беттгер, перебуваючи в екстазі від натовпу, який він зібрав деякою білою брехнею, витягнув дві срібні монети для магічного шоу. Після того як він махнув руками і вчинив над монетами хімічне *вуду*, шматочки срібла «зникли», а на їх місці матеріалізувався суцільний шматок золота. Це був найпереконливіший показ алхімії, який колись бачи-

ли місцеві жителі. Беттгер уважав, що його репутація встановлена, і, на жаль, так воно й було.

Чутки про Беттгера неминуче дійшли до короля Польщі Августа Сильного, який заарештував молодого алхіміка й зачинив, подібно до казкового Румпельштільцхена, у замку, щоби він направ золота для королівства. Очевидно, що Беттгер не міг задовольнити цю вимогу, і після кількох марних експериментів цей ще зовсім молодий безвинний брехунець став кандидатом на шибеницю. Відчайдушно бажаючи врятувати ший, Беттгер благав короля пощадити його. Хоча алхімія йому не вдалася, він стверджував, що знає, як зробити порцеляну.

На той час ця претензія навряд чи була більш достовірною. Відколи Марко Поло повернувся з Китаю наприкінці XIII століття, європейська шляхта була одержима білою китайською порцеляною — достатньо твердою, щоби протистояти подряпинам пилочками для нігтів, але водночас на диво напівпрозорою, ніби яечна шкаралупа. Велич імперії оцінювали за її чайним сервізом, і дикі чутки поширювали чарівну силу порцеляни. Наприклад, що не можна отруїтися, якщо пити з порцелянової чашки. Інша чутка стверджувала, що китайці настільки багаті на порцеляну, що звели з неї дев'ятиповерхову вежу, просто щоби показати себе. (Це виявилось правдою.)

Протягом століть могутні європейці, як-от Медічі у Флоренції, спонсорували порцелянові дослідження, але спромоглися створити лише жалюгідні копії — на трієчку з мінусом.

На щастя для Беттгера, у короля Августа був здібний чоловік, який працював над порцеляною, Еренфрід Вальтер фон Чірнаугс. Чірнаугс, попереднім завданням якого було брати проби польських ґрунтів, щоби з'ясувати, де копати коштовності для корони, щойно винайшов спеціальну піч, яка досягала 3000 °F (1650 °C). Це дозволило йому розтопити порцеляну, щоби проаналізувати її, і, коли король наказав розумному Беттгеру стати помічником Чірнаугса, почалися дослідження. Дует виявив, що секретними інгредієнтами китайської порцеляни були біла глина під назвою каолін та порода польового шпату, яка зливається в скло за високої температури. Настільки ж важливо, що вони зрозуміли: на відміну від більшості посуду, порцелянову глазур та глину доведеться готувати одночасно, а не окремо. Саме це високотемпературне злиття глазури та глини надає справжній порцеляні її прозорість і міцність. Удосконаливши

процес, вони повернулися з легкою душею, щоби продемонструвати свою васальну слухняність і вірність. Август щедро подякував їм, мріючи, що порцеляна негайно зробить його, принаймні соціально, найвпливовішим монархом Європи. І після такого прориву Беттгер розумно очікував на повернення своєї свободи. На жаль, король вирішив, що тепер той занадто цінний, щоби його звільнити, і зачинив під більш жорсткою охороною.

Секрет порцеляни неминуче просочився, і рецепти Беттгера та Чірінгауса поширилися всією Європою. Маючи основну хімію, майстри й надалі вдосконалювали процес протягом наступного пів століття. Незабаром, хай би де люди знаходили польовий шпат, вони видобували його, зокрема в морозній Скандинавії, де порцелянові печі цінувалися через те, що досягали вищої температури і тримали тепло довше, ніж залізні. Для живлення європейської промисловості, що швидко розвивалася, 1780 року було відкрито рудник для видобування польового шпату за якийсь десяток миль від Стокгольму, на острові Іттербю.

Іттербю, що означає «зовнішнє село», має саме такий вигляд, який, за вашими сподіваннями, може мати прибережне село у Швеції: будиночки з червоними дахами просто на воді, великі білі віконниці та безліч ялинок на просторах подвір'ях. Люди подорожують навколо архіпелагу на поромах. Вулиці названо на честь мінералів та елементів*.

Рудник Іттербю розташовувався на вершині пагорба в південно-східному куті острова. Він постачав дрібну сиру руду для порцеляни та інших цілей. Що ще цікавіше для науковців, його начебто пуста порода в процесі обробки також видавала екзотичні пігменти та кольорові глазури. Сьогодні ми знаємо, що яскраві кольори — це мертві подарунки лантаноїдів, і рудник в Іттербю був надто насичений ними з кількох геологічних причин. Колись земні елементи було рівномірно змішано в корі, ніби хтось кинув у миску цілу стійку спецій із супермаркета й перемішав. Але атоми металів, особливо лантаноїдів, виявляють тенденцію рухатися стадами, і, коли розплавлена Земля крутилася, вони збилися до купи. Поклади лантаноїдів виявилися недалеко — фактично під Швецією. А оскільки Скандинавія лежить поблизу лінії розлому, тектонічна плита у віддаленому минулому вигрібала багаті на лантаноїди породи з глибокого підземелля, і цьому процесу сприяли улюбленці Бунзена —

гідротермальні жерла. Нарешті під час останнього льодовикового періоду обширні скандинавські льодовики збрили поверхню суходолу. Ця фінальна геологічна подія відкрила багату на лантанойди породу для легкого видобутку поблизу Іттербю.

Але якщо Іттербю від початку мав належні економічні умови, щоби зробити видобуток вигідним, та належну геологію, щоби зробити його науково цінним, він усе ще потребував належного соціального клімату. До кінця 1600-х років Скандинавія ледве розвинулася поза межі вікінгівського менталітету, протягом цього століття навіть її університети проводили полювання на відьом (і чаклунські полювання на відьмаків-чоловіків) у масштабах, які збентежили б Салем. Але в 1700-х роках, після того як Швеція підкорила півострів політично, а шведське просвітництво завойовувало його в культурному плані, скандинави масово сприйняли раціоналізм. Великі вчені почали з'являтися на світ у кількостях, не пропорційних малому населенню регіону. Серед них був Юган Гадолін, 1760 року народження, хімік із династії науково налаштованих викладачів. (Його батько обіймав спільну посаду професора фізики та теології, а дід — ще менш подібні посади професора фізики та єпископа.)

Після великої подорожі Європою в юнацькому віці — зокрема до Англії, де він заприятелював із виробником порцеляни Джо-заєю Веджвудом і об'їхав його глиняні копальні, — Гадолін оселився в Турку (це в теперішній Фінляндії), через Балтійське море від Стокгольму. Там він заслужив репутацію геохіміка. Геологи-аматори почали присилати до нього незвичні камені з Іттербю, щоб отримати його думку, і потроху, завдяки публікаціям Гадоліна, науковий світ почав час від часу чути про цей чудовий маленький рудник.

Хоча в нього не було хімічних приладів (або хімічної теорії), щоби виділити всі чотирнадцять лантанойдів, Гадолін досяг значних успіхів у виділенні їхніх кластерів. Він перетворив полювання на елементи в приємне проведення часу, навіть у хобі, і, коли в часи старості Менделєєва хіміки з кращими інструментами переглянули роботу Гадоліна з породами Іттербю, нові елементи посипалися, як монетки з дір'явої кишені. Гадолін поклав початок тенденції, назвавши один очікуваний елемент ітрієм, і, ушановуючи спільне походження елементів, хіміки почали увіковічнювати Іттербю в періодичній таблиці. Походження аж семи елементів пов'язано з Іттербю — це більше, ніж з будь-яким іншим місцем, людиною

чи річчю. Це село стало натхненням для ітербію, ітрію, тербію та ербію. Для інших трьох безіменних елементів, перш ніж вичерпати літери («рбій» має не дуже добрий вигляд), хіміки обрали назви: гольмій — натяк на Стокгольм, тулій — за міфічною назвою Скандинавії, і, за наполяганням Лекока де Буабодрана, гадоліній — тезку Гадоліна.

Загалом із семи елементів, виявлених в Іттербію, шість були зниклими лантаноїдами Менделєєва. Історія могла бути зовсім іншою — Менделєєв безперервно переробляв свою таблицю і, можливо, сам заповнив би всю її нижню частину після церію, якби здійснив подорож на захід, через Фінську затоку та Балтійське море, до тих Галапагоських островів періодичної таблиці.

Ne Ir Re Na
Fe Pb W Co
Os Cl Sc Pu
Br

Частина II

СТВОРЕННЯ АТОМІВ, РУЙНУВАННЯ АТОМІВ

Cf Mo Bk Nb
Pm Md No Lr Ni
Bh Hs Cn
Sg Db Ds F

4

Звідки беруться атоми: «Ми всі зоряна матерія»

$^{26}_{\text{Fe}}$ 55.845	$^{10}_{\text{Ne}}$ 20.180	$^{82}_{\text{Pb}}$ 207.2	$^{77}_{\text{Ir}}$ 192.217	$^{75}_{\text{Re}}$ 186.207
-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Звідки беруться елементи? Заснована на здоровому глузді думка, що століттями панувала в науці, полягала в тому, що вони не походять ні звідки. Існувало багато метафізичних турнірів з приводу того, хто (або Хто) і чому міг створити космос, але консенсус полягав у тому, що час життя кожного елемента збігається з життям Усесвіту. Вони ані з'являються, ані зникають: елементи просто є. Пізніші теорії, як-от теорія Великого вибуху 1930-х, уплели цей погляд у свою тканину. Оскільки вушко голки, яке існувало тоді, чотирнадцять мільярдів років тому, містило всю матерію Всесвіту, усе, що зараз навколо нас, мало бути викинуте з цієї цятки. Ще не сформована в тіари з діамантами, жерстяні банки та алюмінієву фольгу, але та сама базова матерія. (Один учений обчислив, що для створення всієї відомої матерії Великому вибуху знадобилося десять хвилин. Потім покепкував: «Елементи було приготовано за менший час, ніж потрібно для приготування качки зі смаженою картоплею».) Знову ж, це здоровий погляд — стабільна астроісторія елементів.

Ця теорія почала ламатися протягом наступних десятиліть. Німецькі та американські вчені довели 1939 року*, що Сонце та інші

зорі нагрівають себе шляхом злиття водню й утворення гелію — процес, який вивільняє неабияку кількість енергії порівняно з крихітними розмірами атомів. Деякі вчені сказали: «Чудово, популяція водню та гелію може змінюватися, але лише незначно, і немає жодних доказів, що популяція інших елементів узагалі змінюється». Але відповідно до того, як продовжували удосконалювати телескопи, з'являлося все більше подряпин на голові. Теоретично Великий вибух повинен був викидати елементи рівномірно в усіх напрямках. Однак дані довели, що більшість молодих зірок містять лише водень та гелій, тоді як старші зорі тушкуються з десятками елементів. До того ж надзвичайно нестабільні елементи, як-от технецій, що відсутній на Землі, існують у певних класах «хімічно своєрідних зір»*. Щось мусить щодня заново кувати ці елементи.

У середині 1950-х кілька сприйнятливих астрономів зрозуміли, що самі зорі — це небесні вулкани. Хоча не поодинці, Джеффри Бербідж, Маргарет Бербідж, Вільям Фаулер та Фред Гойл зробили найбільше, щоби пояснити теорію зоряного нуклеосинтезу у славнозвісній статті 1957 року, відомій для знавців просто як B^2FH . Як не дивно для наукової роботи, B^2FH відкривається двома поважними й суперечливими цитатами Шекспіра про те, чи керують зорі долями людства*. Стаття стверджує, що такі керують... І вперше припускає, що колись у Всесвіті була первісна суспензія водню з ледве помітними домішками гелію та літію. Урешті-решт водень згуртувався до купи, утворивши зорі, і надзвичайний гравітаційний тиск усередині них почав зливати атоми водню один з одним, утворюючи гелій,— цей процес опалює кожен зорю на небі. Але хай яким важливим був цей процес космологічно, з наукового погляду він дуже нудний, оскільки всі зорі створюють гелій протягом мільярдів років. Але коли водень згоряє, припускає стаття B^2FH — і саме це її реальний внесок,— усе починає трястися. Зорі, які протягом довгих еонів сиділи на місці, жуючи водневу жуйку, зазнають глибших перетворень, ніж наважився б фантазувати будь-який алхімік.

Відчайдушно підтримуючи високі температури, зорі, яким бракує водню, починають палити та плавити гелій у своїх ядрах. Інколи атоми гелію повністю злипаються й утворюють елементи з парними номерами, а іноді протони та нейтрони відпадають — й утворюються непарні елементи. Досить скоро помітні кількості

літію, бору, берилію й особливо вуглецю накопичуються всередині зір (і тільки всередині — прохолодний зовнішній шар залишається переважно водневим протягом усього життя зорі). На жаль, спалювання гелію вивільняє менше енергії, ніж спалювання водню, тому зорі вичерпують свій гелій протягом максимум кількох сотень мільйонів років. Деякі маленькі зорі в цей момент навіть «помирають», створюючи розплавлені маси вуглецю, вони відомі як «білі карлики». Важчі зорі (десь увосьмеро масивніші за Сонце) борються, створюючи з вуглецю ще шість елементів, аж до магнію, і в такий спосіб купують собі якісь кілька сотень років. Тоді гине ще якась кількість зір, але найбільші й найгарячіші зорі (температура всередині яких досягає п'яти мільярдів градусів) спалюють ці елементи протягом кількох мільйонів років. B^2FH простежує ці різні реакції синтезу й пояснює рецепт виготовлення всього аж до заліза: це не що інше, як еволюція елементів. Унаслідок подій, описаних у B^2FH , астрономи сьогодні можуть без розбору зібрати докупи всі елементи між літієм та залізом під назвою «зоряні метали», і коли вони знаходять у зорі залізо, то не турбуються шукати нічого меншого — бо, якщо помічене залізо, можна припустити, що представлена й решта періодичної таблиці до цього елемента.

Здоровий глузд припускає, що в найбільших зорях атоми заліза незабаром зливаються, а отримані атоми також зливаються між собою, утворюючи кожен елемент аж до глибин періодичної таблиці. Але, здоровий глузд знову помиляється. Коли ви візьметесь за розрахунки й вивчите, скільки енергії потребує утворення одного атомного союзу, то виявите, що злиття чогось із двадцятьма шістьма протонами заліза *коштує* енергії. Це означає, що післязалізний синтез* не приносить згодою до енергії зорі жодної користі. Залізо — це останній дзвоник природного життя зорі.

То звідки ж беруться найважчі елементи, від двадцять сьомого до дев'яносто другого, від кобальту до урану? Як не дивно, каже B^2FH , вони виходять готовими з малих Великих вибухів. Після марнотратного спалювання елементів, як-от магній та кремній, надзвичайно масивні зорі (у дванадцять разів більші за Сонце) спалюються до залізного ядра приблизно за один земний день. Але перш ніж загинути, вони видають апокаліптичне передсмертне булькотіння. Раптом позбавлені енергії, необхідної, щоб, як гарячий газ, зберегти

свій повний об'єм, вигорілі зорі вибухають усередину під впливом власної величезної гравітації, стискаючись на тисячі миль за якісь секунди. У своїх ядрах вони навіть сплющують протони разом з електронами, перетворюючи їх на нейтрони, поки там не залишиться мало що, крім нейтронів. Потім, розтискаючись після цього колапсу, вони вибухають назовні. Кажучи «вибухають», я маю на увазі саме вибухи. За один славний місяць наднова розтягується на мільйони миль і сяє яскравіше від мільярда зірок. А за недовгий період існування наднової стільки газильйонів частинок з такою силою імпульсу стикаються стільки разів на секунду, що перестрибують через нормальні енергетичні бар'єри і сплавляються із залізом. Багато залізних ядер закінчують своє життя в оболонках із нейтронів, частина яких розпадається назад у протони і в такий спосіб створює нові елементи. Кожна природна комбінація елемента та ізотопу вивергається із цієї круговерті часток.

Сотні мільйонів наднових пройшли цей цикл перевтілення та катаклізму смерті лише в нашій Галактиці. Один такий вибух дав початок нашій Сонячній системі. Близько 4,6 млрд років тому наднова відправила звуковий «бум» крізь плоску хмару космічного пилу завширшки близько 15 млрд миль, залишки щонайменше двох попередніх зірок. Частинки пилу змішалися з піною від вибуху наднової, і весь цей хаос почав крутитися у вирах та вихрах, як поверхня величезного ставу внаслідок бомбардування. Щільний центр хмари википів до Сонця (що зробило його канібалізованим залишком попередніх зір), почали агрегуватися та згущуватися планетарні тіла.

Найбільш приголомшливі планети — газові гіганти — утворилися, коли зоряний вітер — потік викиду від Сонця — видував легші елементи назовні, до краю. Серед цих гігантів найбільше газів у Юпітері, котрий з різних причин став фантастичним табором елементів, де вони можуть жити у формах, яких ніколи не уявляли на Землі.

З давніх-давен легенди про блискучу Венеру, оточений кільцями Сатурн та переповнений марсіанами Марс розбурхували людську уяву. Небесні тіла також давали поживу для називання багатьох елементів. Планету Уран було відкрито 1781 року, і це настільки схвилювало наукове співтовариство, що 1789 року на її честь було названо новий елемент, хоча вона навряд містить навіть кілька грамів урану. Нептуній і плутоній також назвали за цією тради-

цією. Але за останні десятиліття найбільш ефектний ривок з усіх планет зробив Юпітер. 1994 року з ним зіткнулася комета Шумейкерів—Леві 9, і це було перше міжгалактичне зіткнення на очах людей. Воно не розчарувало: двадцять один фрагмент комети вдарив у ціль, а вогняні кулі стрибнули на висоту дві тисячі миль. Ця драма також збудила широку громадськість, і вченим NASA незабаром довелося відбиватися від приголомшливих питань під час відкритих сесій запитання та відповідей в інтернеті. Один чоловік поцікавився, чи може ядро Юпітера бути алмазом, більшим за всю Землю. Ще хтось запитав, яке, заради бога, відношення має до гігантської червоної плями Юпітера «гіпервимірна фізика, про яку він чув», та фізика, котра зробить можливими подорожі в часі. За кілька років після Шумейкерів—Леві, коли гравітація Юпітера нахилила яскраву комету Гейла—Боппа до Землі, тридцять дев'ять узутих у кросівки Nike прихильників культу «Небесні Врата» в Сан-Дієго покінчили життя самогубством, оскільки вважали, що Юпітер відхилив її божественною силою і що він приховує НЛО, який підніме їх на вищий духовний рівень.

Сьогодні ліку немає дивним віруванням (цю фразу насмішливо кинув в радіошоу *BBC* — щоби зневажити саму ідею — Фред Гойл з когорти *B²FH*, який, попри свої дипломи та титули, не вірив ні в еволюцію Всесвіту, ні у Великий вибух). Зауважимо, що питання про алмаз у попередньому абзаці принаймні мало підґрунтя. Колись деякі вчені серйозно стверджували (або таємно сподівалися), що велетенська маса Юпітера може створити такий величезний дорогоцінний камінь. Дехто все ще сподівається, що можливі рідкі або тверді алмази розміром із кадилак. І якщо ви шукаєте справді екзотичні матеріали, от вам: астрономи вважають, що нестабільне магнітне поле Юпітера можна пояснити лише океанами чорного, рідкого «металевого водню». Учені бачили металевий водень на Землі лише протягом наносекунд, за вкрай екстремальних умов, які вони змогли створити. Однак багато хто впевнений, що Юпітер має ціле водоймище такого водню завглибшки сорок три тисячі кілометрів.

Причина, через яку елементи живуть таким дивним життям усередині Юпітера (і меншою мірою всередині Сатурна, наступної за величиною планети), полягає в тому, що Юпітер є чимсь проміжним: не так велика планета, як невдала зоря. Якби Юпітер під час

свого утворення всмоктав приблизно в десять разів більше космічного сміття, він міг би перетворитися на коричневого карлика, зорю з достатньою масою, щоби зливати кілька атомів разом і виділяти низьковатне, коричневе світло*. Наша Сонячна система стала би подвійною, тобто містила би дві зорі. (Як ми побачимо, це не така вже дивина.) Натомість Юпітер охолонув нижче порогу для злиття, проте підтримує достатню кількість тепла, маси та тиску, щоб атоми набилися дуже близько один до одного, аж до того моменту, коли вони припиняють поводитись як знайомі нам земні атоми. Усередині Юпітера вони вступають у мішанину можливостей між хімічними та ядерними реакціями, де алмази розміром із планету та маслянистий металевий водень здаються правдоподібними.

Схожі трюки чинить з елементами й погода на поверхні Юпітера. Це не повинно дивувати на планеті, яка може підтримувати гігантське червоне око — ураган втричі ширший за Землю, що не розсіявся після століть шаленого шторму. Метеорологія глибоко всередині Юпітера, можливо, ще більш захоплива. Оскільки сонячний вітер видував на таку відстань лише найлегші, найпоширеніші елементи, Юпітер повинен мати такий самий базовий елементний склад, як і справжні зорі,— 90 % водню, 10 % гелію та передбачувані сліди інших елементів, зокрема неону. Але останні супутникові спостереження показали, що в зовнішній атмосфері відсутня чверть гелію, як і 90 % неону. Не випадково, що глибше в атмосфері існує безліч цих елементів. Щось, очевидно, перекачувало гелій та неон з одного місця в інше, і вчені незабаром зрозуміли, що карта погоди може сказати їм, що саме.

У справжній зорі постійний спрямований досередини тягар гравітаційної сили врівноважують усі мініядерні вибухи в ядрі. У Юпітера, оскільки йому не вистачає ядерної печі, мало що може зупинити важчий гелій або неон у зовнішніх, газоподібних шарах від падіння всередину. Приблизно на чверті такого шляху ці гази підходять близько до рідкого шару металевого водню, де інтенсивний атмосферний тиск стискає розсіяні атоми газу в рідину, котра швидко осаджується.

У наші часи всі бачили, як гелій та неон палають яскравими кольорами в скляних трубочках — так зване неонове світло. Тертя від небесного пірнання над Юпітером так само порушило б падіння крапельок цих елементів, заряджаючи їх енергією, як метеорити.

Тож якби досить великі краплі падали досить глибоко й досить швидко, хтось, хто плавав просто біля шару металевого водню всередині Юпітера, можливо, лишень можливо, міг би глянути вгору, у вершково-помаранчеве небо, і побачити найвидовищніше світлове шоу — феєрверк, що запалює юпітеріанську ніч трильйоном смуг блискучого малинового кольору, який учені називають неоновим дощем.

* * *

Історія «кам'яних» планет нашої Сонячної системи (це Меркурій, Венера, Земля та Марс) інша, їхня драма тонша. Коли Сонячна система почала згущуватися, газові гіганти сформувалися першими, лише за мільйон років, тоді як важкі елементи зібралися в небесному поясі, серединою орієнтованому приблизно на земну орбіту, і лишалися там спокійно на мільйони років довше. Коли Земля та її сусіди нарешті закрутились у розплавлені кулі, ці елементи змішалися більш-менш рівномірно всередині них. З дозволу Вільяма Блейка, ви могли б зачерпнути жменю ґрунту й потримати у своїй долоні весь Усесвіт, усю періодичну систему¹. Але коли елементи кружляли навколо, атоми почали позначати своїх близнюків та двоюрідних родичів, і після мільярдів проходів вгору та вниз утворилися життєздатного розміру відкладення кожного елемента. Густе залізо затонуло до ядра всередині кожної планети, туди, де воно перебуває й сьогодні. (Щоби не поступитися Юпітеру, рідке ядро Меркурія іноді випускає залізні «сніжинки» — не схожі на звичні на нашій планеті шестикутники на водній основі, а мікроскопічні кубики*.) Земля могла б закінчитися лишень величезними плавучими крижинами урану, алюмінію та інших елементів, якби не трапилося щось інше: планета охолола й затверділа достатньо, щоб майже унеможливити сколочування «елементного масла». Тож ми сьогодні залишилися зі скупченнями елементів, але достатня кількість цих скупчень розкидана настільки далеко одне від одного, що жодна країна не монополізує їх постачання, окрім кількох відомих випадків.

¹ Посилання на рядок *Hold Infinity in the palm of your hand* («Тримати нескінченність у долоні») вірша Вільяма Блейка *Auguries of Innocence* («Пророцтва невинності»).— *Прим. перекл.*

Порівняно з планетами навколо інших зір, чотири «кам'яні» планети нашої системи мають різну поширеність кожного типу елементів. Більшість сонячних систем, імовірно, утворюється з наднових зір, і точні елементні співвідношення кожної системи залежать від заздалегідь наявної в надновій зорі енергії для сплавлення елементів, а також від того, що було присутнім (космічного пилу). Як наслідок, кожна сонячна система має унікальний «власноручний підпис». Зі шкільної хімії ви, мабуть, пам'ятаєте, що бачили під кожним елементом періодичної таблиці число, яке вказує його атомну масу — кількість протонів плюс кількість нейтронів. Вуглець, наприклад, важить 12,011 одиниць. Насправді це просто середнє значення. Більшість атомів вуглецю важать рівно 12 одиниць, а 0,011 виникає через врахування незначної кількості вуглецю, який важить 13 або 14 одиниць. Однак в іншій галактиці середнє значення атомної маси вуглецю може відхилитися трохи вище або нижче. Крім того, наднові виробляють багато радіоактивних елементів, які починають розпадатися одразу після вибуху. Українське імовірно, щоби дві системи мали однакове співвідношення радіоактивних та нерадіоактивних елементів, якщо обидві вони не народилися разом.

Зважаючи на різноманітність сонячних систем і беручи до уваги, що їхнє формування відбувалося незабаром давно, люди, наділені розумом, можуть запитати, як науковці отримують хоча б найтуманніше уявлення про те, у який спосіб утворилася Земля. Передусім учені проаналізували кількість та розміщення звичайних та рідкісних елементів у земній корі та вивели, як ті могли потрапити туди, де зараз є. Наприклад, загальні кількості свинцю та урану фіксували дату народження планети завдяки серії майже шалено прискіпливих експериментів, проведених одним аспірантом у Чикаго в 1950-х.

Найважчі елементи є радіоактивними, і майже всі вони — особливо уран — розпадаються до стійкого свинцю. Оскільки Клер Паттерсон професійно піднявся вже після Мангеттенського проекту, він знав точну швидкість, з якою розпадається уран. І ще він знав, що на Землі існують три види свинцю. Кожен тип, або ізотоп, має різну атомну масу — 204, 206 або 207. Скільки-то свинцю всіх трьох типів існувало з моменту народження нашої наднові, але певна кількість була свіжоствореною з урану. Суть полягає в тому,

що уран розпадається лише на два з цих типів, 206 та 207. Кількість 204 є фіксованою, оскільки жоден елемент не утворює його внаслідок розпаду. Основна ідея полягала в тому, що відношення кількості ізотопів 206 і 207 до фіксованого ізотопу 204 збільшувалося з передбачуваною швидкістю, бо уран продовжує розпадатися на перші два. Якби Паттерсон спромігся вирахувати, наскільки це співвідношення зараз вище, ніж спочатку, то мав би змогу використати швидкість розпаду урану для екстраполяції назад, до нульового року.

Головна проблема полягала в тому, що не були відомі початкові співвідношення ізотопів свинцю, тож Паттерсон не знав, коли зупинити дослідження в минуле. Але він знайшов розв'язання. Звичайно, не весь космічний пил навколо Землі коагулював у планети. Утворилися також метеори, астероїди та комети. Оскільки ці об'єкти містили той самий пил і відтоді плавали навколо в криогенному просторі, вони збереглися як шматки первісної Землі. Крім того, оскільки залізо перебуває на вершині піраміди зоряного нуклеосинтезу, Усесвіт містить непропорційно велику його кількість. Метеори — це тверде залізо. Гарною новиною є те, що хімічно залізо та уран не змішуються, а от залізо та свинець — змішуються, тож метеори містять свинець у тих самих початкових співвідношеннях, що спочатку були на Землі, оскільки ніякого урану, щоби додати нові атоми свинцю, у них не було. Паттерсон схвильовано дістався метеорних шматочків із каньйону Дьябло в Арізоні і взявся до роботи.

Лише щоби бути зіштовхнутим із рейок більшою, усе гострішою проблемою — індустріалізацією. Люди з давніх часів використовували м'який, податливий свинець для проектів на кшталт комунальних водопроводів. (Символ свинцю в періодичній таблиці, Pb, походить від того самого латинського слова *plumbum*, яке подарувало англійській назву професії *plumber*, тобто водопровідник — а тепер уже поважний *сантехнік*.) А з моменту появи свинцевої фарби та етильованого, тобто зарядженого тетраетилсвинцем, бензину («проти детонаційного стукання у двигуні») наприкінці XIX — на початку XX століття, рівень свинцю в навколишньому середовищі зростає, подібно до того, як зараз зростає рівень вуглекислого газу. Ця розповсюдженість зруйнувала ранні спроби Паттерсона проаналізувати метеори, і йому довелося розробити ще

більш радикальні заходи — наприклад, обладнання для кип'ятіння в концентрованій сірчаній кислоті,— щоби запобігти проникненню випарів «людського» свинцю в його незаймані космічні камінці. Як пізніше він сказав інтерв'юєру, «свинець із вашого волосся, коли ви заходите в таку надчисту лабораторію, як моя, забруднить всю ту клятву лабораторію».

Ця скрупульозність незабаром перетворилася на одержимість. Читаючи недільні комікси, Паттерсон почав сприймати Піг-Пена, задушеного пилом персонажа «Арахісу», як метафору для людства, що вічна хмара Піг-Пена була нашим свинцем у повітрі. Але нав'язлива свинцева ідея Паттерсона призвела до двох важливих наслідків. По-перше, достатньо очистивши лабораторію, він отримав найкращу досі оцінку віку Землі — 4,55 млрд років. По-друге, жах Паттерсона через забруднення навколишнього середовища свинцем перетворив його на активіста, і він став найбільшою причиною, через яку майбутні покоління ніколи не будуть їсти чипси зі свинцевою фарбою, а АЗС більше не будуть турбуватися щодо реклами «без свинцю» на своїх колонках. Завдяки хрестовому походу Паттерсона сьогодні вважається здоровим глуздом знати, що свинцеві фарби необхідно заборонити, а автомобілі не мають викидати свинець, щоби ми не могли його вдихати та накопичувати у волоссі.

Паттерсон, можливо, поцілів у точку з віком походження Землі, але знати, коли Земля утворилася,— це ще не все. Венера, Меркурій та Марс утворилися одночасно, але, за винятком поверхневих деталей, вони ледве нагадують Землю. Щоби скласти разом тонкі деталі нашої історії, ученим довелося досліджувати деякі темні коридори періодичної таблиці.

1977 року команда фізиків-геологів — батько й син Луїс та Волтер Альвареси — вивчала поклади вапняку в Італії приблизно того часу, як вимерли динозаври. Шари вапняку були рівномірними, але тонкий незрозумілий шар червоної глини запорошував поклади приблизно з дати вимирання страшних ящерів шістдесят п'ять мільйонів років тому. Дивно, але глина містила в шістсот разів більше за нормальний рівень елемента іридію. Іридій — це сидерофільний, тобто залізолюбивий, елемент*, тому більша його частина

пов'язана з розплавленим залізним ядром Землі. Єдине звичайне джерело іридію — це багаті залізом метеори, астероїди та комети, що змусило Альваресів саме так і вважати.

Небесні тіла, як-от Місяць, укрито кратерними шрамами від стародавніх бомбардувань, і немає причин думати, що Земля уникала таких обстрілів. Якби щось величезне розміром з велике місто вдарило Землю 65 млн років тому, воно засипало б шаром пилу, багатого на іридій, увесь світ. Ця хмара затьмарила б Сонце й задушила рослинне життя, що загалом здавалося достовірним поясненням того, чому не тільки динозаври, але й 75 % усіх біологічних видів і 99 % усіх живих істот вимерли приблизно в той час. Щоби переконати деяких учених, знадобилося багато роботи, але Альвареси незабаром визначили, що іридієвий шар поширений у всьому світі, і вони відкинули конкурентну можливість, що відкладення пилу походили із сусідньої надкової. Коли інші геологи (що працювали на нафтову компанію) виявили на півострові Юкатан у Мексиці кратер завширшки понад сто миль, завглибшки дванадцять миль і віком 65 млн років, астероїдно-іридієва теорія вимирання здавалася доведеною.

За винятком того, що залишався крихітний сумнів, скалка в науковій совісті людства. Можливо, астероїд зачорнив небо і спричинив кислотні дощі та цунамі заввишки в милю, але в такому разі Земля прийшла б до норми щонайбільше за кілька десятиліть. Проблема полягала в тому, що, за даними розкопок, динозаври вмирили протягом сотень тисяч років. Сьогодні багато геологів вважають, що численні виверження вулканів в Індії, які відбувалися за часом до і після Юкатанського удару, допомогли знищити динозаврів. І 1984 року деякі палеонтологи почали стверджувати, що вимирання динозаврів було частиною більш масштабної картини: приблизно кожні 26 млн років Земля зазнавала масових вимирань. Чи не був це просто збіг обставин, що астероїд упав, коли динозаврам належало вмирати?

Геологи також почали виявляти інші тонкі шари глини, багаті на іридій, які, здавалося, геологічно збігалися з іншими вимираннями. Слідом за Альваресами деякі люди прийшли до висновку, що астероїди чи комети спричинили всі основні суцільні знищення в земній історії. Луїс Альварес, батько в команді «батько-син», уважав цю ідею сумнівною, адже ніхто не міг пояснити найваж-

ливішу й найбільш докорінно неправдоподібну частину теорії — причину послідовності. Не випадково тим, що перевернуло думку Альвареса, був ще один непоказний елемент, реній.

Як згадував у книжці «Немезида» колега Альвареса Річард Мюллер, одного разу в 1980-х до його кабінету ввірвався Альварес, розмахуючи «смішною» та спекулятивною доповіддю про періодичні вимирання, яку він повинен був рецензувати. Альварес уже кипів та пінився, але Мюллер вирішив все-таки з ним подискутувати. Вони почали сперечатися, як подружжя, аж до тремтячих губ. Суть справи, як підсумував її Мюллер, полягала в такому: «На просторах космосу навіть Земля є дуже маленькою ціллю. Астероїд, що проходить близько до Сонця, має лише трохи кращий за один на мільярд шанс потрапити на нашу планету. Впливи, які виникають, повинні бути розділені в часі випадково, а не рівномірно. Що може змусити їх траплятися за певним графіком?»

Мюллер, хоч і не мав відповіді, захищав можливість того, що якийсь фактор може спричинити періодичні обстріли. Нарешті Альваресу набридло слухати здогадки і він кинув Мюллеру виклик, вимагаючи дізнатися, що це таке. Мюллер у стані, котрий він описав як запалений адреналіном спалах імпрізованої геніальності, зазирнув у себе й випалив, що, можливо, біля Сонця блукає зоря-супутник, навколо якої Земля кружляє надто повільно, щоби ми могли її помітити,— і... і... і її тяжіння нахилило астероїди до Землі, коли вона наближалася до нас. *Ось тобі причина!*

Мюллер, можливо, мав на увазі зорю-супутник, пізніше названу Немезидою* (за ім'ям грецької богині відплати), лише наполовину серйозно. Проте ця ідея ненадовго зупинила Альвареса, тому що пояснила дразливу деталь щодо ренію. Пам'ятаєте, що всі сонячні системи мають підпис, унікальне співвідношення ізотопів? Виявлені сліди ренію було змішано в шарах іридіумної глини, і, виходячи зі співвідношення двох типів ренію (одного радіоактивного, одного ні), Альварес знав, що будь-які гадані фатальні астероїди повинні були походити з нашої домашньої Сонячної системи, оскільки це співвідношення було таким самим, як і на Землі. Якби Немезида насправді прокручувалася кожні двадцять шість мільйонів років і шпурляла в нас космічні скелі, ці скелі також мали б однакове співвідношення ізотопів ренію. Найкраще, що Немезида могла по-

яснити, чому динозаври вимирали так повільно. Мексиканський кратер, можливо, було створено лише найсильнішим ударом у бомбардуванні, яке тривало багато тисяч років, доки Немезида була по сусідству. Можливо, це могло бути не одне тяжке поранення, а тисячі або мільйони дрібних укусів, які закінчили знамениту епоху страшних ящерів.

Того дня в кабінеті Мюллера вдача Альвареса — легко прийшло, легко пішло — випарувалася, тільки-но він зрозумів, що періодичні астероїди принаймні можливі. Задоволений, він залишив Мюллера. Але Мюллер не міг позбутися так удадо виниклої ідеї, і що більше він розмірковував, то більше в цьому переконувався. Чому не може існувати Немезида? Він почав розмовляти з іншими астрономами та публікувати статті про Немезиду. Мюллер накопичив докази та імпульс і написав книжку. Кілька славних років у середині 1980-х здавалося: навіть якщо Юпітеру не вистачає маси, щоби розпалитись як зоря, можливо, Сонце все-таки має небесного супутника.

На жаль, неістотні свідчення про Немезиду ніколи не були потужними, а незабаром стали здаватися ще скромнішими. Якщо початкова гіпотеза одинарного удару спричиняла вогонь критиків, то теорія Немезиди примусила їх вишикуватися до масованого залпу, як британські «червоні мундири» під час війни за незалежність. Навряд чи астрономи просто пропустили небесне тіло за тисячі років сканування неба, навіть якщо Немезида була в найбільш віддаленому місці. Особливо якщо згадати, що до найближчої відомої зорі, Альфи Центавра, чотири світлові роки, тоді як Немезиді, щоби заповдіяти свою відплату, довелося б повзти лише половину світлового року. Існують незгодні або романтики, які все ще шукають космічний поштовий індекс для Немезиди, але з кожним роком її існування стає все малоймовірнішим.

Проте ніколи не варто недооцінювати силу, що змушує людей задуматися. Беручи до уваги три факти — начебто регулярні вмирання, іридій, який має на увазі удари, і реній, котрий натякає, що об'єкти, які поціляють у нас, походять з нашої Сонячної системи,— учені відчували, що на щось натрапили, навіть якщо Немезида не була тим механізмом. Вони досліджували інші цикли, які могли б спричинити спустошення, і незабаром знайшли кандидата — у русі Сонця.

Багато людей припускають, що революція Коперника пришила Сонце до фіксованого місця в просторі-часі, але насправді воно зтягується в припливи-відпливи нашої місцевої спіральної галактики і, коли пливе, коливається вгору-вниз, як на каруселі з гойдалкою*. Деякі вчені гадають, що це коливання наближає його до нас, щоб тягнути за собою комети та космічне сміття, що дрейфують навколо нашої Сонячної системи величезною хмарою, так званою хмарою Оорта. Усі об'єкти хмари Оорта з'явилися одночасно з народженням нашої наднової, і щоразу, коли Сонце піднімається до гребеня або опускається до підшви хвилі кожні двадцять із чимось мільйонів років, воно може притягати маленькі недружні тіла й посылати їх у напрямку до Землі. Більшість буде відхилена силою тяжіння Сонця (або Юпітера, який відтягнув від нас снаряд Шумейкерів—Леві), але проскочить достатньо близько, щоб Землю добряче поколошматило. Ця теорія ще далеко не доведена, але якщо вона справедлива, то ми перебуваємо в одній довгій смертельній поїзді Всесвітом на тій каруселі. Принаймні, ми можемо подякувати іридію та ренію: вони дали нам знати, що, можливо, незабаром нам варто краще навчитися ухилитися.

В одному сенсі періодична таблиця насправді не має значення для вивчення зоряної історії елементів. Кожна зоря складається майже виключно з водню та гелію, як-от газові планети-гіганти. Але хай яким важливим був воднево-гелієвий цикл, він не дуже збуджує увагу. Для отримання найцікавіших деталей існування, як-от вибухи наднових або вуглецеве життя, нам потрібна періодична таблиця. Як пише філософ-історик Ерік Скеррі, «усі елементи, крім водню та гелію, складають лише 0,04 % Всесвіту. Якщо поглянути з цього погляду, періодична система видається досить незначною. Але факт залишається фактом: ми живемо на Землі... де відносна кількість елементів зовсім інша».

Що правда, то правда, хоча покійний астрофізик Карл Саган сказав це поетичніше. Без описаних у B^2FH ядерних печей для кування елементів, як-от вуглець, кисень та азот, і без вибухів наднової для зародження гостинних місць на кшталт Землі життя ніколи не склалося б. Як ласкаво сказав Саган, «ми всі зоряна матерія».

На жаль, одна сумна правда астроісторії полягає в тому, що «зоряна матерія» Сагана не прикрашала однаково кожну частину нашої планети. Попри те, що вибухи наднових розкидують

елементи в усіх напрямках, і попри всі зусилля розмішування розплавленої Землі, у деяких місцях виявилися більш високі концентрації рідкісних мінералів. Іноді, як в Іттербю, у Швеції, це стає натхненням для наукового генія. Але набагато частіше це надихає жадібність і хижість — особливо коли ці загадкові елементи застосовують у торгівлі, війні або, що найгірше, і в тому і в тому одночасно.

5

Елементи в часи війни

³⁵ Br 79.904	⁷⁶ Os 190.233	¹⁷ Cl 35.453	⁴² Mo 95.942	⁷⁴ W 183.841	²¹ Sc 44.956	⁷³ Ta 180.948	⁴¹ Nb 92.906
-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

Як і інші основи сучасного суспільства — демократію, філософію, драму — ми можемо простежити хімічну війну в ретроспективі аж до Стародавньої Греції. Місто-держава Спарта, обложивши Афіни в 400-х роках до нашої ери, вирішило піддати свого впертого супротивника впливу найсучаснішої хімічної технології того часу — диму. Спартанці нишком підкралися до Афін зі згубними в'язанками з деревини, смоли та смердючої сірки, запалили їх, присіли навпроти міських стін і стали чекати, коли афіняни, бухкаючи, утечуть, покинувши свої будинки без охорони. Хоча це була така ж блискуча інновація, як і троянський кінь, тактика зазнала невдачі. Дими клубочилися над Афінами, але місто пережило смердючу бомбу й продовжило війну до перемоги*.

Ця невдача виявилася передвісницею. Хімічна зброя періодично прогресувала, якщо взагалі використовувалася, протягом наступних двадцяти чотирьох століть і залишалася набагато слабшою, скажімо, за виливання на нападників киплячого масла. До Першої світової війни газ не мав стратегічного значення. Не те щоб країни не визнавали загрози. Усі науково розвинуті держави світу, окрім однієї, підписали Гаазьку конвенцію 1899 року про заборону застосування у війні зброї на хімічній основі. Але в Сполучених Штатів — саме вони відмовилися — був аргумент: заборона газів, які

на той час були навряд чи потужнішими, ніж перечний спрей, здавалася лицемірною, якщо країни були й без того надто раді косити вісімнадцятирічних дітей кулеметами та топити бойові кораблі торпедами — і нехай моряки тонуть у темному морі. Інші країни глузували з цинізму Сполучених Штатів, демонстративно підписали Гаазький пакт і негайно порушили своє слово.

Ранні таємні роботи з хімічними речовинами зосереджувалися на бромі, елементі — енергетичній гранаті. Як усі інші галогени, бром має на своєму зовнішньому енергетичному рівні сім електронів, але відчайдушно хоче вісім. Бром уважає, що мета виправдовує засоби, й атакує в клітинах більш слабкі елементи, як-от вуглець, щоби захопити їхній електрон. Бром особливо подразнює очі та ніс, і до 1910 року військові хіміки розробили на основі броду лакриматори, тобто сльозогінні отруйні речовини, настільки потужні, що вони могли позбавити боєздатності навіть дорослого чоловіка, примусивши його плакати гарячими й пекучими сльозами.

Не маючи причин утримуватися від використання лакриматорів проти власних громадян (Гаазький пакт стосувався лише війни), 1912 року уряд Франції знешкодив банду паризьких грабіжників банків етиловим бромомоцетатом. Звістка про цю подію швидко дісталася сусідів Франції, які отримали привід хвилюватися. Коли в серпні 1914 року спалахнула війна, французи одразу закидали бромовими снарядами німецькі війська, що наступали. Але навіть Спарта двома тисячоліттями раніше впоралася краще. Снаряди приземлилися на відкритій вітру рівнині, і газ мав мало ефекту, бо його видуло ще до того, як німці зрозуміли, що їх «атакували». Однак точніше сказати, що снаряди мали невеликий *негайний* ефект, оскільки істеричні чутки про газ роздирали газети по обидва боки фронту. Німці роздмухували полум'я — наприклад, звинувачували в нещасних випадках отруєння чадним газом у своїх казармах таємні французькі задушливі гази, щоби виправдати власну програму хімічної війни.

Завдяки одному чоловікові, лисому хіміку у вусах та пенсне, німецькі газові дослідницькі підрозділи незабаром випередили решту країн світу. Фріц Габер мав один із найвеличніших хімічних інтелектів в історії, і він став одним із найвідоміших учених у світі близько 1900 року, коли з'ясував, як перетворити найпоширенішу з хімічних речовин — азот повітря — на промисловий продукт. Хоча

газоподібний азот може душити людей, які нічого не підозрюють, та це зазвичай не дуже небезпечно. Насправді це безпечно майже до марності. Азот робить одну важливу справу — удобрює ґрунт: це так само важливо для рослин, як вітамін С для людей. (Коли сараценії та венерини мухоловки захоплюють комах, то роблять це саме заради азоту своїх жертв.) Але попри те, що азот складає 80 % повітря — чотири з кожних п'яти молекул, якими ми дихаємо,— він майже зовсім не збагачує ґрунт. Азот рідко з чимсь реагує та ніколи не «закріплюється» в ґрунті. Це поєднання надлишку, браку та важливості зробило азот бажаним об'єктом для амбітних хіміків.

У процесі, який винайшов Габер для «захоплення» азоту, існує багато кроків, і багато хімічних речовин з'являються й зникають. Але по суті Габер нагрівав азот до сотень градусів, упорскував трохи водню, піднімав тиск до значень, у сотні разів більших за звичайний повітряний тиск, додавав трохи важливого осмію як каталізатор і вуалю: звичайне повітря перетворювалося на аміак, NH_3 , попередник усіх добрив. Завдяки доступним дешевим промисловим добривам фермери більше не були обмежені компостними купами або гноєм для живлення свого ґрунту. До початку Першої світової війни Габер, схоже, урятував мільйони людей від мальтузіанського голоду, і ми все ще можемо подякувати йому за те, що більшість із сьогоднішніх 6,7 млрд людей¹ у світі нагодована.

Що втрачено в цьому резюме, це те, що Габер мало дбав про добрива, попри те, що іноді казав протилежне. Фактичною його метою був дешевий аміак, потрібний, щоби допомогти Німеччині створити вибухові речовини з азоту,— бомба, якою Тимоті Маквей підірвав будинок суду в Оклахома-Сіті 1995 року, мала як вибухівку добриво. Сумна правда полягає в тому, що люди, як-от Габер, часто спливають протягом історії — дрібні Фаусти, котрі перетворюють наукові інновації на ефективні пристрої для вбивства. Історія Габера темніша, бо він був дуже кваліфікований. Після початку Першої світової війни німецькі військові лідери, сподіваючись переломити позиційну війну, яка руйнувала їхню економіку, завербували Габера до підрозділу газової війни. Габер мав бажання добре заробити на урядових контрактах завдяки своїм патентам на аміак, проте не міг кинути свої інші проекти досить швидко. Незабаром цей відділ було названо «Контора Габера», і військові навіть присвоїли Габеру,

¹ Дані на час написання книжки; зараз близько 7,8 мільярда.— Прим. перекл.

сорокашестирічному єврею, який перейшов у лютеранство (це допомогло його кар'єрі), звання капітана, що викликало в нього чисто дитячу гордість.

Його родина була в меншому захваті. Позиція Габера «кубер аллес»¹ охолоджувала його особисті стосунки, особливо з одною особою, яка, можливо, могла б урятувати його, Кларою Іммервар, його дружиною. Вона теж випромінювала геній, ставши першою жінкою, яка здобула ступінь доктора філософії престижного університету в рідному місті Габера, Бреслау (тепер Вроцлав). Але, на відміну від своєї сучасниці Марії Кюрі, Іммервар ніколи не реалізувала би власних можливостей, бо замість вийти заміж за чоловіка широких поглядів, як-от П'єр Кюрі, вона вийшла за Габера. На перший погляд, такий шлюб був непоганим вибором для людини з науковими амбіціями, але хай яким блискучим хіміком був Габер, людиною він був не найкращою. Іммервар, як стверджує один історик, «ніколи не зняла фартуха», вона одного разу поскаржилася подрузі, що «Фріц має манеру ставити себе першим у нашому домі та шлюбі, тож менш безжально самовпевнену особистість це просто знищує». Вона підтримувала Габера, перекладаючи його рукописи англійською та надаючи технічну підтримку азотним дослідженням, але відмовилася допомагати в роботі з отруйним бромовим газом.

Габер це ледь помітив. Десятки інших молодих хіміків визивалися добровольцями, бо Німеччина відстала від ненависної Франції в хімічній зброї, і до початку 1915 року німці створили відповідь на французькі лакриматори. Проте вони випробовували свої снаряди на британській армії, яка не мала газу. На щастя, як і в першій французькій газовій атаці, вітер розсіяв газ, і британські цілі — що нудьгували до півсмерті в сусідньому окопі — і гадки не мали, що на них напали.

Не стримуючись, німецькі військові готові були витратити ще більше ресурсів на хімічну зброю. Але виникла проблема — той прискіпливий Гаазький пакт, який політичні лідери не хотіли (знову) розірвати публічно. Рішенням було трактувати пакт у надзвичайно сумлінний, але зрештою неправдивий спосіб. Підписавши його, Німеччина погодилася «втриматися від використання проєктів, єдиною метою яких є дифузія задушливих або шкідливих газів». Отже, за втонченим, юридично правильним щодо букви договору німецьким

¹ «Германія вища за все». — Прим. перекл.

прочитанням, пакт не мав юридичної сили щодо снарядів, які доставляли шрапнель і газ. Потрібна була хитра технологія — рідкий бром, що перетворюється на газ під дією удару, робив хаотичною траєкторію снарядів, — але військово-промисловий і науково-дослідний комплекс Німеччини впорався, і 15-сантиметрова оболонка, наповнена бромідом ксилілу, їдкою сльозогінною речовиною, була готова до кінця 1915 року. Німці називали це *weisskreuz*, тобто «білий хрест». Знову залишаючи французів у спокої, Німеччина перекинула свої мобільні газові установки на схід, щоб обстріляти російську армію вісімнадцятьма тисячами *weisskreuz*. Що сказати, ця спроба була ще більшою невдачею, ніж перша. Температура в Росії була настільки низькою, що бромід ксилілу заморозився до твердого стану.

Вивчивши погані результати польових випробувань, Габер відмовився від броду і спрямував свої зусилля на його хімічного кузена — хлор. Хлор перебуває в періодичній таблиці над бромом і ще небезпечніший для дихання. Він більш агресивно атакує інші елементи заради ще одного електрона, і оскільки хлор менший — кожен атом за масою менше половини атома броду, — він може атакувати клітини організму набагато спритніше. Хлор перетворює шкіру жертви на жовту, зелену та чорну, а очі зтягує катарактами. А гинуть люди насправді від утоплення — від накопичення рідини в легенях. Якщо бром — це фаланга піхотинців, що стикаються зі слизовими оболонками, хлор — це танк бліцкригу, який мчить на захисників тіла, щоби розірвати пазухи та легені.

Завдяки Габеру буфонада бромової зброї поступилася місцем нещадній фазі хлору, пам'ять про яку зберігають сьогодні історичні книжки. Ворожим солдатам незабаром довелося боятися *grunkreuz*, тобто «зеленого хреста»; *blaukreuz*, тобто «синього хреста»; і кошмарного, що вкриває тіло пухирями, *gelbkreuz*, тобто «жовтого хреста», інакше відомого як гірчичний газ. Не задовольняючись науковим внеском, Габер із захопленням скерував першу в історії успішну газову атаку, яка спалила в брудних окопах біля Іпра п'ять тисяч розгублених французів. У вільний час Габер також створив гротескний біологічний закон, «правило Габера», яке визначало залежність між концентрацією газу, часом його дії та смертністю — що, напевно, вимагало страхітливо великої кількості даних.

Жахаючись газових проектів, Клара від самого початку перечила Фріцу й вимагала їх припинити. Як завжди, Габер її зовсім

не слухав. Насправді, хоча він цілком щиро плакав, коли під час аварії в дослідницькій філії «Контори Габера» загинули колеги, проте після повернення з Іпра влаштував вечерю, щоби відсвяткувати свою нову зброю. Гірше того, Клара дізналася, що Габер повернувся додому лише на одну ніч, для короткої зупинки дорогою на східний фронт, де мав керувати наступними нападами. Чоловік і дружина сильно посварилися, і пізніше тієї ж ночі Клара вийшла в сімейний сад з армійським пістолетом Фріца й вистрелила собі в груди. Хоча Габер, без сумніву, засмутився, він не дозволив цій біді зупинити його. Не залишившись для організації поховання, він поїхав, як і було заплановано, наступного ранку.

Попри незрівнянні таланти Габера, Германія врешті-решт прогала «війну за завершення всіх воєн», і її було загально визнано країною-негідником. Міжнародна реакція на самого Габера була складнішою. 1919 року, ще до того, як осів пил (або газ) Першої світової війни, Габер отримав вакантну Нобелівську премію 1918 року з хімії (присудження цих премій було призупинено під час війни) за процес виробництва аміаку з азоту, хоча його добрива не захистили тисячі німців від голоду під час війни. А роком пізніше його звинувачували як міжнародного військового злочинця за проведення кампанії хімічної війни, що спричинила тяжкі тілесні ушкодження сотень тисяч людей, а тероризувала мільйони — отака суперечлива, майже самознищувальна спадщина.

Усе погіршилося. Принижений величезними репараціями, які Німеччина повинна була заплатити союзникам, Габер витратив шість марних років, намагаючись видобути розчинене золото з океанів, аби самостійно сплатити всі репарації. Інші проекти згасали так само марно, і єдине, за що Габер здобув увагу в ці роки (крім того, що намагався продати себе Радянському Союзу як радника щодо газової зброї), — це інсектицид. Габер винайшов «Циклон А» ще до війни, а німецька хімічна компанія попрацювала з його формулою після війни для виробництва ефективного другого покоління газу. Урешті-решт новий режим з короткою пам'яттю захопив Німеччину, і нацисти незабаром вислали Габера за його єврейські корені. Він помер 1934 року під час подорожі до Англії в пошуках притулку. Тим часом робота над інсектицидом тривала. І за кілька років гітлерівці вже труїли мільйони євреїв, зокрема родичів Габера, газом другого покоління — «Циклоном Б».

* * *

Окрім того, що Габер був євреєм, Німеччина позбавилася його, бо він став *відсталим*. Паралельно зі своїми інвестиціями в газові війни, німецькі військові під час Першої світової війни почали експлуатувати іншу комірку періодичної таблиці і врешті-решт вирішили, що колошматити бійців противника двома металами, молібденом і вольфрамом, має більше сенсу, ніж ошпарювати їх двома газами — хлором та бромом. Знову ж таки, війна увімкнула просту, базову хімію періодичної системи. Вольфрам усе ясніше ставав «саме тим» металом Другої світової війни, але історія молібдену є дещо цікавішою. Цього майже ніхто не знає, але найвіддаленіша битва Першої світової війни відбулася не в Сибіру чи проти Лоуренса Аравійського в пісках Сахари, а на молібденовій шахті в Скелястих горах штату Колорадо.

Найстрашнішою зброєю Німеччини після газу були її «Великі Берти», батареї надважких облогових гармат, які люто громили психіку солдатів, як і траншеї Франції та Бельгії. Перші «Берти», вагою в сорок три тонни, доводилося по частинах транспортувати тракторами до позиції, де їх складали двісті осіб протягом шести годин. Відплатою була здатність за кілька секунд закинути 406-міліметровий снаряд масою 960 кг на 14,5 км. Проте один великий недолік стриножував «Берти». Викид майже тонної маси вимагав цілих бочок пороху, який виробляв величезну кількість тепла, а це, зі свого боку, випалювало й викривляло шестиметрові сталеві стволи. Після декількох днів пекельної стрілянини, навіть якщо німці обмежувалися кількома пострілами за годину, сама гармата була використаною до чортів.

Ніколи не зазнаючи збитків, надаючи озброєння для фатерлянда, славетна збройова компанія Круппа знайшла рецепт для зміцнення сталі: уприскування в неї молібдену. Молібден може протистояти надмірному нагріванню, оскільки плавиться за 2620 °С, майже на тисячу градусів вище від заліза, основного металу в сталі. Атоми молібдену більші, ніж у заліза, через це збуджуються повільніше, і в них на 60 % більше електронів, тому вони поглинають більше тепла і зв'язуються міцніше. Крім того, атоми у твердих тілах спонтанно і часто катастрофічно переміщуються, коли змінюється температура (детальніше про це в Розділі 16), що часто призводить до появи крихкості металу — він тріскається і слабшає. «Допінг»

стали молібденом склеює атоми заліза, не даючи їм ковзати. (Німці не були першими, хто це з'ясував. Ще в XIV столітті майстер-виробник мечів в Японії спринцював молібден у сталь і виготовляв найбільш бажану на островах самурайську зброю, лезо якої ніколи не тупилося й не тріскалося. Але оскільки цей японський Гефест помер зі своєю таємницею, її було втрачено на довгі шістсот років — доказ того, що найвища технологія не завжди поширюється й часто зникає.)

Але повернімося в окопи; невдовзі німці почали гатити у французів та британців з гармат другого покоління — з «молі-сталі». Але незабаром Німеччина стикнулася зі ще одним величезним недоліком «Берти» — країна не мала запасів молібдену й ризикувала залишитися без нього. Фактично єдиним відомим постачальником була збанкрутіла і майже покинута шахта на горі Бартлетт у штаті Колорадо.

Перед Першою світовою війною один місцевий мешканець подав заявку на Бартлетт, виявивши жилки руди, схожої на свинець або олово. Ці метали коштували б принаймні кілька центів за фунт, але нікому не потрібний молібден, який він виявив, було дорожче видобувати, ніж за нього платили, тому він продав свої права на видобуток такому собі Отісу Кінгу, енергійному та відважному коротуну, банкіру з Небраски. Завжди заповзятливий, Кінг застосував нову техніку видобутку, яку ніхто не потурбувався винайти раніше, і швидко видобув 2600 кг чистого молібдену — що практично розорило його. Ці майже три тонни перевищили щорічний світовий попит на молібден у півтора рази, тож Кінг не просто наводнив ринок — він його втопив. Відзначаючи принаймні новизну спроби Кінга, уряд США згадував про це в мінералогічному віснику 1915 року.

Мало хто помітив цей бюлетень, за винятком велетенської міжнародної гірничої компанії, що базувалась у Франкфурті, Німеччина, і мала американську філію в Нью-Йорку. Згідно з одним звітом того часу, у *Metallgesellschaft* були плавильні, шахтні, збагачувальні та інші «щупальця» в усьому світі. Тільки-но директори компанії, що мали тісні зв'язки з Фріцем Габером, прочитали про молібден Кінга, вони мобілізували свого керівника в Колорадо Макса Шотта й наказали йому захопити гору Бартлетт.

Шотт — людина, яка, за описами, мала «очі, що могли загіпнотизувати», — направив рейдерів забити заявочні коли та вимотувати

Кінга в суді, щоби швидше довести шахту до банкрутства. Більш войовничі рейдери погрожували дружинам та дітям шахтарів і знищували їхні табори взимку, коли температура падала нижче двадцяти градусів морозу. Кінг найняв для захисту кульгавого злочинця на прізвисько Адамс Дві Пушки, але німецькі агенти все-таки дісталися до Кінга на гірському перевалі, погрожуючи ножами та кирками, і скинули його з прямовисної скелі. Йому пощастило впасти у сніговий замет. Як писала у своїх спогадах «наречена-боєць» одного шахтаря, німці робили «все, крім прямого вбивства, щоб зашкодити роботі його компанії». «Клята Моллі» — так звали стійкі робітники Кінга цей метал з невимовною назвою, який вони викопували, ризикуючи життям.

Кінг мав слабке уявлення про те, що робить «Моллі» в Німеччині, але він був єдиним у Німеччині чи Північній Америці не-німцем, який мав хоч якийсь. Лише коли 1916 року англійці захопили німецьку зброю й вивчили її шляхом розплавлення, союзники виявили *вундерметал*, але підступні напади в Скелястих горах тривали. Сполучені Штати не вступали в Першу світову війну до 1917 року, тому в них не було поважних причин слідкувати за дочірньою компанією *Metallgesellschaft* у Нью-Йорку, особливо зважаючи на її патріотичну назву — *American Metal*. Саме їй належала фірма Макса Шотта, і коли приблизно 1918 року уряд почав ставити запитання, *American Metal* стверджувала, що є законним власником шахти, оскільки загнаний у кут Отіс Кінг продав її Шотту за якихось 40 000 доларів. Вона також визнала, що, гм, просто трапилася нагода перевезти весь цей молібден до Німеччини. Федерали швидко заморозили американські акції *Metallgesellschaft* і взяли під контроль гору Бартлетт. На жаль, ці зусилля сталися занадто пізно, щоби вимкнути «Великі Берти». Ще 1918 року Німеччина застосувала гармати з легованої молібденом сталі для обстрілу Парижу з дивовижної відстані в сто двадцять кілометрів.

Єдиною справедливістю було те, що фірма Шотта збанкрутувала після перемир'я, у березні 1919 року, коли ціни на молібден різко впали. Кінг повернувся до видобутку та став мільйонером, переконавши Генрі Форда використовувати молібденовану сталь в автомобільних двигунах. Але дні «Моллі» у війні закінчилися. На той час, коли розпочалася Друга світова війна, молібден було витіснено з виробництва сталі елементом, що розташований у періодичній таблиці під ним, — вольфрамом.

І якщо молібден є одним із найважчих щодо вимовлення елементів у періодичній таблиці — мо-ліб-де-нум!!! — вольфрам має один із найнедоречніших хімічних символів, велике жирне незрозуміле W. Авжеж, англійською та французькою цей елемент зветься тунгстен, тому й незрозуміло, до чого тут W. А воно означає німецьку назву металу, і *wolf* — то вовк. Це слово точно віщувало темну роль, яку він зіграв у війні. Нацистська Німеччина бажала вольфраму для виготовлення машин та бронейних снарядів, і її потяг до нього перевершив навіть похоть до награваного золота, яке нацистські бонзи із задоволенням обмінювали на вольфрам. А в кого? Хто був торговим партнером нацистів? Не Італія та Японія, інші держави Осі. Не одна з країн, які загарбали німецькі війська, як-от Польща чи Бельгія. Це була нібито нейтральна Португалія, вольфрам якої живив вовчі апетити німецької військової промисловості.

На той час Португалія була країною, на яку було важко розраховувати. Вона здавала союзникам в оренду життєво важливу повітряну базу на Азорських островах в Атлантичному океані, до того ж (бачили фільм «Касабланка»?) біженці прагнули втекти до Лісабону, звідки вони могли спокійно летіти до Британії чи США. Однак диктатор Португалії Антонію Салазар терпів нацистських прихильників у своєму уряді та надавав притулок шпигунам Осі. І ще він під час війни досить дворушницьки перевозив тисячі тонн вольфраму в обидва боки. Доводячи, що не випадково є колишнім професором економіки, Салазар використовував майже монополію своєї країни на цей метал (90 % поставок в Європі) для отримання прибутків, на 1000 % більших, ніж у мирні часи. Це, можливо, було б захисним кроком, якби Португалія мала давні торговельні стосунки з Німеччиною та переживала через те, щоби не впасти в злидні воєнного часу. Але Салазар почав продавати вольфрам Німеччині у значних кількостях лише 1941 року, мабуть, на основі теорії, що нейтральний статус його країни дозволяє йому однаково обдирати обидві сторони.

Торгівля вольфрамом працювала!

Урахувавши досвід із молібденом і визнавши стратегічне значення вольфраму, Німеччина намагалася ним заpastися, перш ніж почала стирати кордони між собою й сусідами — Польщею та Францією. Вольфрам — один із найтвердіших відомих металів, і додання його до сталі робить чудовими свердла та пилки. Крім того, навіть

снаряди чи ракети скромного розміру, що були оснащені вольфрамом — так звані бронейні боеприпаси кінетичної дії, могли підбивати танки. Причину, через яку вольфрам виявився кращим за інші легувальні присадки до сталі, можна зрозуміти безпосередньо з періодичної таблиці. Вольфрам, розташований нижче молібдену, має подібні до нього властивості. Але завдяки ще більшій кількості електронів він не плавиться до 3400 °С. Крім того, атом вольфраму, важчий, ніж у молібдену, є ще кращим якорем проти ковзання атомів заліза. Пам'ятаєте, що спритний хлор добре працював у газових атаках? Тут, у метали, твердість та міцність вольфраму виявилися привабливішими.

Настільки привабливішими, що марнотратний нацистський режим використав усі запаси вольфраму ще до 1941 року, і в цей момент долучився сам фюрер. Гітлер наказав своїм міністрам зібрати стільки вольфраму, скільки могли перевозити потяги через завойовану Францію. Як не прикро, чорний ринок цього сіруватого металу практично не існував — увесь процес був цілком прозорим, як зазначав один історик. Вольфрам перевозили з Португалії через фашистську Іспанію, другу «нейтральну» державу, а велику частину золота, яку нацисти вилучили в євреїв — зокрема вирвані золоті зуби вбитих у газових камерах євреїв, — відмивали банки в Лісабоні та Швейцарії, ще одній країні, яка не трималася жодної сторони. (П'ятдесят років по тому головний лісабонський банк усе ще стверджував, що чиновники не мали уявлення про те, що отримані ними сорок чотири тонни золота були брудними, попри свастики, викарбовані на багатьох зливках.)

Навіть непохитна Британія не могла нічого вдіяти з приводу вольфраму, який допомагав знищувати її хлопців. Прем'єр-міністр Вінстон Черчилль приватно назвав португальську торгівлю вольфрамом «проступком», і щоби це зауваження не було сприйнято неправильно, він додав, що Салазар мав «цілковите право» торгувати вольфрамом з відкрито визнаними ворогами Британії. Проте вкотре виникло інакомислення. Увесь цей голий капіталізм, який приносив користь «соціалістичній» Німеччині, спричинив апоплектичні напади на вільному ринку США. Американські чиновники просто не могли зрозуміти, чому Британія не наказала або відверто не примусила Португалію, щоби та покинула свій прибутковий нейтралітет. Лише після тривалого тиску США Черчилль погодився

використати насильницькі заходи проти Салазара — лідера, що користувався насильницькими методами.

До цього Салазар (якщо на хвилину відкласти мораль) блискуче грав із Віссю та її союзниками завдяки тактиці розпливчастих обіцянок, таємних пактів та затримок вольфрамівих потягів. Він збільшив ціну на цей єдиний товар своєї країни з 1100 доларів за тону 1940 року до 20 000 доларів 1941 року і за три роки шаленої спекуляції накопичив 170 мільйонів доларів. Тільки після вичерпання виправдань Салазар 7 червня 1944 року — наступного дня після дня «Д» — запровадив щодо нацистів повне вольфрамове ембарго, до цього моменту командувачі союзників були занадто зайняті (і сповнені огиди), щоби покарати його. По-моєму, це Ретт Батлер у «Віднесених вітром» сказав, що багатство можна нажити лише під час розбудови імперії або її руйнування, і Салазар, безумовно, підписався би під цією теорією. У так званій вольфрамівій війні португальський диктатор сміявся останній.

Вольфрам і молібден були лише першими натяками на справжню металеву революції, яка відбулася пізніше у ХХ столітті. Три чверті всіх елементів — це метали, але до Другої світової війни більшість із них, окрім заліза, алюмінію та декількох інших, тільки те й робили, що затикали дірки в періодичній таблиці. (Дійсно, ця книжка не могла бути написана сорок років тому — ні про що було б розповідати.) Але приблизно з 1950 року кожен метал знайшов свою нішу. Гадоліній ідеально підходить для магнітно-резонансної томографії (МРТ). Неодим створює безпрецедентно потужні лазери. Скандій, котрий зараз використовується як подібна до вольфраму присадка в алюмінієвих бейсбольних битах і рамах для велосипедів, допоміг Радянському Союзу в 1980-х виготовляти легкі вертольоти і, здається, нібито навіть покривати радянські межконтинентальні балістичні ракети МКБР, які зберігаються під землею в Арктиці, щоби забезпечити ядерні удари крізь крижані поля.

На жаль, за всього технологічного прогресу, досягнутого під час металевої революції, деякі елементи продовжували сприяти війні — і то не в далекому минулому, а в останньому десятилітті. Ці два елементи названо на честь двох грецьких міфологічних персонажів, відомих великими стражданнями. Ніобея заслужила

гнів богів, похвалившись своїми сімома прекрасними доньками та сімома симпатичними синами, яких дуже ображені Олімпійські боги незабаром зарізали за її зухвалість. Тантал, батько Ніобеї, убив власного сина й подав його на стіл на королівському бенкеті. На покарання Танталу довелося цілу вічність стояти по шию в річці, а обтяжена яблуками гілка звисала над його носом. Однак, коли він намагався з'їсти чи випити, плоди віддувало вітром поза його досяжність, а вода відступала. І хоча невловимість і втрати замучили Тантала і Ніобею, насправді це надлишок елементів — їхніх тезок — спустошив Центральну Африку.

Є велика ймовірність, що зараз у вашій кишені є тантал або ніобій. Як і їхні сусіди в періодичній системі, обидва вони — щільні, термостійкі, некорозійні метали, котрі добре тримають заряд, — якості, що роблять їх життєво важливими для компактних мобільних телефонів. У середині 1990-х дизайнери стільникових телефонів почали вимагати обидва метали, особливо тантал, у найбільшого у світі постачальника, Демократичної Республіки Конго, яку тоді називали Заір. Конго розташована поруч із Руандою в Центральній Африці, а більшість із нас, мабуть, пам'ятає руандійську різню 1990-х. Але, мабуть, ніхто з нас не пам'ятає того дня 1996 року, коли скинутий уряд руандійських етнічних хуту просочився в Конго, шукаючи притулку. Тоді це здавалося просто продовженням руандійського конфлікту на кілька миль на захід, але в ретроспективі це виявилася лісова пожежа, котра переросла в десятиліття накопиченого расового напруження. Зрештою в густих джунглях воювали дев'ять країн і дві сотні етнічних племен, кожне з яких мало свої давні союзи та невгамовані образи.

Проте, якби було задіяно лише великі армії, конфлікт у Конго, імовірно, закінчився б. Більше за Аляску і щільно заросле, як Бразилія, Конго менш доступне, ніж будь-яка інша країна, через відсутність доріг, тобто воно далеко не ідеальне для ведення затяжної війни. Крім того, бідні жителі села не можуть дозволити собі все кинути й піти в бій, якщо на кону не гроші. Хоч там тантал, ніобій та стільникові технології. Зараз я не маю на меті приписувати прямі звинувачення. Ясно, що не стільникові телефони спричинили війну, це зробили ненависть і образи. Але так само ясно, що вливання готівки підтримувало бійню. Конго має 60 % світових запасів обох цих металів, які поєднуються в землі в мінерал, званий колтаном.

Після того як стільникові телефони стали популярними — обсяги продажу зросли з практично нуля 1991 року до понад мільярда 2001-го, — голод Заходу виявився таким же сильним, як у Тантала, а ціна на колтан зросла вдесятеро. Люди, які купували руду для виробників мобільних телефонів, не питали і не хвилювалися, звідки взявся колтан, а конголезькі шахтарі не здогадувалися, для чого використовується цей мінерал, знаючи лише, що білі люди за нього платять і що вони можуть використати прибуток, аби підтримувати своїх улюблених вояків.

Як не дивно, але тантал і ніобій виявились такими шкідливими, тому що колтан був настільки «демократичним». На відміну від тих часів, коли хижі бельгійці керували алмазними та золотими копальнями Конго, жоден конгломерат не контролював колтан, не було екскаваторів та самоскидів, необхідних для його видобутку. Будь-який простолюдин з лопатою та міцною спиною міг викопати цілі кілограми цього добра в руслах струмків (воно схоже на густу грязь). Лише за кілька годин селянин міг заробити в двадцять разів більше, ніж його сусід за цілий рік праці на полі, і відповідно до того, як прибуток збільшувався, чоловіки покидали свої господарства заради вишукування. Це різко зменшило і без того хиткі запаси продовольства в Конго, і люди почали полювати на горил через м'ясо, фактично винищуючи їх, наче тварин було стільки ж, як буйволів. Але смерть горил була нічим порівняно з людськими звірствами. Це не дуже добре, коли гроші вливаються в країну, що не має уряду. Узяла гору жорстока форма капіталізму, у якій продавалося все, зокрема життя. З'явилися величезні огорожені «табори» з поневоленими повіями, і незліченні щедроти було роздано за криваві вбивства. Розповсюджувалися страшні історії про гордих переможців, які принижували тіла своїх жертв, обвішуючись їхніми нутрощами й танцюючи на святкуванні.

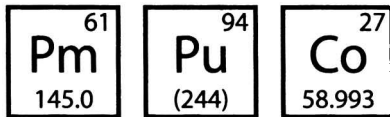
Полум'я в Конго найгарячіше палало між 1998 і 2001 роками, аж тоді виробники мобільних телефонів нарешті зрозуміли, що фінансують анархію. До їхньої честі, вони почали купувати тантал і ніобій в Австралії, хоча це коштувало дорожче, і Конго трохи охололо. Але попри офіційне перемир'я, яке закінчило війну 2003 року, у східній частині країни, поблизу Руанди, конфлікт ніколи не стихав. Останнім часом фінансувати боротьбу почав інший елемент, олово. 2006 року Європейський Союз заборонив свинцевий припій

у споживчих товарах, і більшість виробників замінили свинець на олово — метал, величезні поклади якого також має Конго. Джозеф Конрад якось назвав Конго «найпідлішою гризнею за здобич, яка колись спотворювала історію людської свідомості», і сьогодні мало причин переглядати цей вислів.

Загалом із середини 1990-х у Конго загинуло понад п'ять мільйонів людей, що є найбільшою втратою життів після Другої світової війни. Бойові дії є доказом того, що на додаток до всіх підбадьорливих моментів, які надихнула періодична система, вона також може грати на найгірших нелюдських інстинктах людства.

6

Заповнення таблиці... з вибухом



Наднова зоря засіяла нашу Сонячну систему всіма природними елементами, і збовтування молодих розплавлених планет забезпечило, що ці елементи добре змішані в скелястому ґрунті. Але самі ці процеси не можуть сказати нам усього про розподілення елементів на Землі. З часу наднової цілі види елементів вимерли, оскільки їхні ядра, їхні серця, були надто крихкими, щоби вижити в природі. Ця нестабільність вразила вчених і залишила незрозумілі діри в періодичній системі — діри, які, на відміну від часів Менделєєва, учені просто не могли заповнити, хай як сильно вони шукали. Урешті-решт вони заповнили таблицю, але лише після розробки нових полів, які дозволяють створювати елементи самостійно, і лише після усвідомлення того, що крихкість деяких елементів приховує яскраву, блискучу небезпеку. Створення атомів і руйнування атомів виявилися більш тісно пов'язаними, ніж хтось насмілювався очікувати.

Коріння цієї історії сягають Манчестерського університету в Англії в часи перед Першою світовою війною. Манчестер зібрав декількох чудових учених, зокрема директора лабораторії Ернеста Резерфорда. Мабуть, найбільш перспективним студентом був Генрі

Мозлі. Син натураліста, яким захоплювався Чарлз Дарвін, Мозлі натомість потягнувся до фізичних наук. Він ставився до своєї лабораторної роботи, як до неспанья біля смертного одра, затримуючись по п'ятнадцять годин, ніби ніколи не встигав закінчити все, що хотів зробити, і харчувався лише фруктовим салатом та сиром. Як і деякі з обдарованих людей, Мозлі теж був занудним, жорстким і задушливим, і він висловлював відверту огиду до «смердючої брудності» іноземців у Манчестері.

Але талант молодого Мозлі багато чого виправдовував. Генрі захопився вивченням елементів, підриваючи їх електронними пучками, хоча Резерфорд і заперечував проти такої роботи як марного витрачання часу. Мозлі залучив у партнери онука Дарвіна, фізика, і 1913 року почав систематично досліджувати кожен відкритий елемент аж до золота. Як ми знаємо сьогодні, коли пучок електронів вражає атом, промінь вибиває власні електрони атома, залишаючи дірку. Електрони притягуються до ядра атома, оскільки вони і протони мають протилежні заряди, а відривання електронів від ядра є жорстоким вчинком. Оскільки природа не терпить порожнечі, інші електрони поспішають заповнити щілину і, розбиваючись, випускають високоенергетичні рентгенівські промені. Цікаво, що Мозлі знайшов математичну залежність між довжиною хвилі рентгенівських променів, кількістю протонів, які елемент має у своєму ядрі, та атомним номером елемента (його місцем у періодичній системі).

Оскільки Менделєєв опублікував свою знамениту таблицю ще 1869 року, вона встигла зазнати низки змін. Менделєєв поставив свою першу таблицю боком, поки хтось не показав йому, що має сенс повернути її на дев'яносто градусів. Протягом наступних сорока років хіміки продовжували возитися з нею, додаючи стовпці та переставляючи елементи. Тим часом аномалії почали підривати віру людей у те, що вони справді розуміють таблицю.

Більшість елементів шикуються в таблиці чередою за зростанням маси. Відповідно до цього критерію, нікель повинен передувати кобальту. Однак, щоби належно розташувати елементи — і кобальт сидів над кобальтоподібними елементами, а нікель над нікелеподібними, — хімікам довелося поміняти їх місцями. Ніхто не знав, навіщо воно потрібно, і це був лише один із кількох надокучливих випадків. Щоб обійти цю проблему, учені винайшли на додачу ще

й атомний номер, і це лише підкреслило, що ніхто не знав, що насправді він означає.

Мозлі, якому було лише двадцять п'ять, розгадав загадку, поглянувши на хімічне питання з погляду фізики. Найважливіше, що слід усвідомити, це те, що в той час мало хто з учених вірив в атомне ядро. Резерфорд висунув ідею компактного ядра з високим позитивним зарядом лише за два роки до того, і 1913 року вона залишилася недоведеною, занадто сирою для прийняття вченими. Робота Мозлі дала перше підтвердження. Як згадував Нільс Бор, інший протеже Резерфорда, «ми сьогодні цього не можемо зрозуміти, але [робота Резерфорда] не сприймалася всерйоз... Велика зміна прийшла від Мозлі». Це тому, що Мозлі пов'язав місце елемента в таблиці з фізичною характеристикою, прирівнявши позитивний заряд ядра до атомного номера. І він зробив це в експерименті, який кожен міг повторити. Це довело, що впорядкування елементів не було довільним, а виникло завдяки правильному розумінню анатомії атома. Скрутні випадки, як-от кобальт і нікель, раптом отримали сенс, оскільки легший нікель мав більше протонів і, отже, більший позитивний заряд, тому мусив стати після кобальту. Якщо Менделєєв та інші виявили кубик Рубіка елементів, Мозлі склав його, і після цього більше не було потреби вигадувати пояснення.

Крім того, як і спектроскоп, електронна гармата Мозлі допомогла навести лад у таблиці, перебираючи заплутаний масив радіоактивних видів та спростовуючи помилкові твердження про нові елементи. Мозлі також заповнив чотири прогалини в таблиці — елементи сорок третій, шістдесят перший, сімдесят другий та сімдесят п'ятий. (Елементи, важчі за золото, були занадто дорогі, щоби 1913 року отримати належні зразки для експериментів. Якби Мозлі зміг, він також виявив би елементи вісімдесят п'ятий, вісімдесят сьомий та дев'яносто перший.)

На жаль, хіміки та фізики тієї епохи не довіряли один одному, і деякі видатні хіміки мали сумнів, що Мозлі відкрив щось таке величне, як він стверджував. Француз Жорж Урбен кинув виклик цьому «младотурку», принісши йому подібну до Іттербю суміш неоднозначних рідкісноземельних елементів. Урбен працював двадцять років, вивчаючи рідкісноземельну хімію, і йому знадобилися місяці виснаження, щоб ідентифікувати чотири елементи у своєму зразку, тож він очікував, що це зможе якщо не загнати в глухий

кут, то хоча б збентежити Мозлі. Після цієї їхньої зустрічі Мозлі повернувся до Урбена за годину з повним і правильним переліком*. З рідкісноземельними елементами, які так дратували Менделєєва, тепер було дуже просто розібратися.

Але це зробили інші люди, а не Мозлі. Хоча він був піонером ядерної науки, але з ним сталося те саме, що і з Прометеєм: боги покарали цього юнака, робота якого висвітлила темряву для наступних поколінь. Коли спалахнула Перша світова війна, Мозлі вступив до армії короля (усупереч порадам армійських чиновників) і взяв участь у приреченій Дарданельській операції 1915 року. Одного разу турецька армія кинула на британський стрій фаланги завглибшки у вісім шеренг, і битва переросла у вуличну бійку ножами, камінням та зубами. Десь у цій дикій сутичці впав і двадцятисемирічний Мозлі. Безперспективність цієї війни найкраще відома завдяки англійським поетам, які також загинули на полі бою. Але один колега висловив думку, що втрата Генрі Мозлі сама собою гарантувала, що «війна за завершення всіх воєн» стане «одним із найжахливіших і найбільш непоправних злочинів в історії»*.

Найкраща данина, яку вчені могли віддати Мозлі,— це виявити всі відсутні елементи, на які він указав. Дійсно, Мозлі надихнув мисливців за елементами, які раптом чітко уявили, що треба шукати; це сафари за елементами стало майже занадто популярним. Незабаром виникли сутички щодо того, хто перший поклав у ягдташ гафній, протактиній та технецій. Інші дослідницькі групи наприкінці 1930-х заповнили прогалини в комірках вісімдесят п'ять і вісімдесят сім, створивши відсутні елементи в лабораторії¹.

До 1940 року невідкритим залишався лише один природний елемент, один приз — елемент шістдесят один. Як не дивно, але лише кілька дослідницьких груп в усьому світі переймалися його пошуками. Одна команда, очолювана італійським фізиком на ім'я Еміліо Сегре, намагалася створити штучний зразок і, мабуть, досягла успіху 1942 року, але вони капітулювали після кількох невдалих спроб його ізолювати. Лише за сім років трое вчених з Національної лабораторії Оук-Ридж у штаті Теннессі піднялися на науковій нараді у Філадельфії й оголосили, що, просіявши частину відпрацьованої уранової руди, вони виявили шістдесят перший елемент. Після кількох сотень років хімії останню діру в періодичній системі було заповнено.

¹ Астат і францій.— Прим. перекл.

Але оголошення не викликало особливого хвилювання. Тріо зазначило, що вони відкрили шістдесят перший елемент за два роки до цього, але не оголошували результатів, оскільки були надто зайняті дослідженням урану — своєю справжньою роботою. Преса дала знахідці відповідно прохолодне висвітлення. У *The New York Times* звістку про зниклу ланку подали разом із гучним заголовком про сумнівну техніку видобутку, яка обіцяла сотню безперервних років нафти. *Time* поховав цю новину в підсумковому звіті про конференцію і прирік цей елемент як «не дуже корисний»*. Тоді вчені оголосили, що планують назвати його прометієм. Елементи, виявлені на початку століття, отримали хвалебні або принаймні пояснювальні імена, але назва прометій, на честь титана з грецької міфології, який украв у богів вогонь, віддав його людству і був приречений на тортури — кожного дня орел обідав його печінкою — викликала щось суворе і похмуре, навіть почуття певної вини.

Отже, що сталося між часом Мозлі та відкриттям шістдесят першого елемента? Чому полювання за елементами перетворилося з роботи настільки важливої, що один колега назвав смерть Мозлі непоправним злочином, на роботу, варту лише кількох рядків газетного паперу? Звичайно, прометій був мало на що придатним, але з усіх людей хоча б учені вболівали за непрактичні відкриття, і завершення періодичної системи було епохальною подією, кульмінацією мільйонів людино-годин. Та люди зовсім не втомилися від пошуку нових елементів — це переслідування спричинило спаринг між американськими та радянськими вченими протягом більшої частини холодної війни. Натомість характер і величність ядерної науки змінилися. Люди *бачили речі*, і такий елемент середнього класу, як прометій, уже не міг збудити їх так, як важкі елементи плутоній та уран, не кажучи вже про їхнє знамените потомство — атомну бомбу.

Одного ранку 1939 року молодий фізик із Каліфорнійського університету в Берклі всівся в пневматичне перукарське крісло в студентському союзі, щоби підстригтися. Хто знає тему розмов того дня — можливо, ішлося про того сучого сина Гітлера або чи виграють *Yankees* свою четверту поспіль «Світову серію». Попри це, Луїс

Альварес (ще не відомий своєю теорією вимирання динозаврів) базикав і гортав *San-Francisco Chronicle*, коли натрапив на телеграфне сповіщення про експерименти Отто Гана в Німеччині щодо розщеплення атома урану. Альварес зупинив свого перукаря «посеред чикриження», як згадував його друг, зірвав накидку й помчав до своєї лабораторії, де схопив лічильник Гейгера й кинувся до зразка опроміненого урану. Його волосся все ще лишалося лише наполовину підстриженим, але він скликав усіх, до кого міг докричатися, щоби вони побачили, що відкрив Ган.

Окрім того, що забіг Альвареса був забавним, він ще символізував стан ядерної науки на той час. Учені досягали стійкого, хоча й повільного прогресу в розумінні того, як працюють ядра атомів, здобували маленькі фрагменти знань тут і там — і раптом, з одним відкриттям, усе понеслося шаленим галопом.

Мозлі дав атомній та ядерній науці легітимні основи, і в 1920-х на ці поля пролився піт багатьох талантів. Проте виграш виявився складнішим, ніж очікувалося. Частково в цій плутанині був побічно винен Мозлі. Його робота довела, що ізотопи, як-от свинець-204 та свинець-206, можуть мати однаковий чистий позитивний заряд, але різну атомну масу. У світі, який знав лише протони та електрони, це залишило вчених бавитися громіздкими ідеями про позитивні протони в ядрі, що поглинали негативні електрони в стилі гри *Rac-Man**. Крім того, щоби зрозуміти, як поведуться субатомні частинки, ученим довелося розробити цілий новий математичний інструмент, квантову механіку, і знадобилися роки, аби зрозуміти, як застосувати його до навіть простих, ізольованих атомів водню.

Тим часом учені також розробляли пов'язане з радіоактивністю поле — дослідження того, як ядра розпадаються. Будь-який старий атом може скинути або вкрасти електрони, але наукові світила, як-от Марія Кюрі та Ернест Резерфорд, зрозуміли, що деякі рідкісні елементи можуть також змінити свої ядра, викидаючи атомну шрапнель. Резерфорд особливо допоміг класифікувати всі шрапнелі лише на кілька поширених типів, які він назвав, використовуючи грецький алфавіт, альфа-, бета- чи гамма-розпад. Гамма-розпад є найпростішим і смертельним — він відбувається, коли ядро випромінює концентровані рентгенівські промені, і сьогодні є підґрунтям для ядерних кошмарів.

Інші типи радіоактивності передбачають перетворення одного елемента на інший, танталові муки 1920-х. Але кожен елемент стає радіоактивним у свій характерний спосіб, тому глибокі основні риси альфа- та бета-розпаду збивали з пантелику вчених, які відчували дедалі більше роздратування й щодо природи ізотопів. Модель *Ras-Man* зазнала невдачі, і кілька сміливців припустили, що єдиним способом боротьби з поширенням нових ізотопів є скасування періодичної таблиці.

Гігантське колективне прозріння — момент «Ну звісно ж!» — відбулося 1932 року, коли Джеймс Чедвік, ще один учень Резерфорда, відкрив нейтрон — нейтральний нуклон, який додає масу без заряду. У поєднанні з розумінням Мозлі про атомний номер атоми (принаймні самотні, ізольовані атоми) раптом отримали сенс. Нейтрон означав, що свинець-204 і свинець-206 усе одно можуть бути свинцем — усе одно можуть мати однаковий позитивний ядерний заряд і сидіти в одній комірці періодичної таблиці,— навіть якщо в них різна атомна маса. Природа радіоактивності так само раптом отримала сенс. Бета-розпад розумівся як перетворення нейтронів на протони або навпаки — і оскільки число протонів змінюється, бета-розпад перетворює цей атом на атом іншого елемента. Альфа-розпад також перетворює елементи і є найбільш різкою зміною на ядерному рівні — викидаються два нейтрони і два протони.

Протягом наступних кількох років нейтрон став більш ніж теоретичним інструментом. З одного боку, він забезпечив фантастичний спосіб зондування атомних нутрощів, оскільки вчені могли стріляти нейтронами в атоми, не отримуючи при цьому електричного відштовхування, як це було із зарядженими снарядами. А ще нейтрони допомогли вченим викликати новий тип радіоактивності. Елементи, особливо легші елементи, намагаються підтримувати співвідношення нейтронів і протонів приблизно один до одного. Якщо в атомі занадто багато нейтронів, він розщеплюється, виділяючи в процесі енергію та надлишок нейтронів. Якщо атоми поблизу поглинають ці нейтрони, вони стають нестійкими й випльовують більше нейтронів — каскад, відомий як ланцюгова реакція. Фізик на ім'я Лео Сілард вигадав ідею ядерної ланцюгової реакції приблизно 1933 року, стоячи одного ранку перед червоним світлом світлофора в Лондоні. Він запатентував її 1934 року й намагався

провести ланцюгову реакцію в декількох легких елементах ще 1936 року — та не зміг.

Але зверніть увагу на наведені тут дати. Базові розуміння електронів, протонів та нейтронів ставали на свої місця, коли політичний порядок старого світу розпадався. На той момент, коли Альварес прочитав про поділ урану в перукарні, Європа була приречена.

Одночасно померло й шляхетне старосвітське полювання на елементи. Маючи нову модель атомних нутроців, учені почали розуміти, що ті кілька втаємничених елементів періодичної системи лишалися невідкритими через те, що були внутрішньо нестійкими. Навіть якщо їх було вдосталь на ранній Землі, вони вже давно розпалися. Це зручно пояснило дірки в періодичній системі, але робота підтвердила своє власне скасування. Незабаром зондування нестабільних елементів призвело до того, що вчені натрапили на поділ ядер та нейтронні ланцюгові реакції. І тільки-но вони зрозуміли, що атоми можна розщепити — зрозуміли як наукові, так і політичні наслідки цього факту,— збирання нових елементів для демонстрації здалося аматорським хобі, наче застаріла біологія 1800-х років (застрелити та зробити опудало) порівняно із сьогоденною молекулярною біологією. Ось чому 1939 року, у передбаченні світової війни та можливості атомних бомб, жоден учений не потурбувався простежувати прометій ще ціле десятиліття.

Хоч якими впливовими були вчені щодо можливості вибухання бомб, але теорію від реальності все ще відокремлювало багато роботи. Сьогодні мало хто про це згадує, але військові експерти вважали ядерні бомби, у кращому разі, далекою справою. Як завжди, ці воєначальники прагнули залучити науковців до чергової світової війни, і вчені поглибили її жажливість завдяки технологіям, як-от покращена сталь. Але війна не закінчилася б двома грибоподібними хмарами, якби уряд США не виявив політичну волю інвестувати мільярди в дотепер чисту й непрактичну сферу — субатомну науку,— замість просто вимагати більшої та швидшої зброї *зараз*. І навіть тоді з'ясування, як контролювано розщеплювати атоми, виявилось настільки далеким від тогочасної науки, що науковцям довелося прийняти для досягнення успіху цілу нову дослідницьку стратегію — метод Монте-Карло, який змінив уявлення людей про те, що означає «робити науку».

Як зазначалося вище, квантова механіка чудово працювала для ізольованих атомів, і до 1940 року науковці знали, що атом, поглинувши нейтрон, стає схильним до нудоти, яка змушує його вибухнути і, можливо, виділити більше нейтронів. Пройти шлях одного конкретного нейтрона було легко, не важче, ніж прослідкувати шлях більярдної кулі. Але початок ланцюгової реакції вимагав координації мільярдів мільярдів нейтронів, які всі рухалися з різною швидкістю в різноманітних напрямках. Це перетворило на кашу суворо детермінований, тобто налаштований на один чіткий результат, теоретичний апарат учених. Водночас уран та плутоній були дорогими та небезпечними, тому про детальні експериментальні роботи просто не йшлося.

Проте вчені Мангеттенського проекту мали накази точно з'ясувати, скільки плутонію та урану їм потрібно для створення бомби: занадто мало, і бомба просто пшикне; занадто багато — і бомба підірветься просто чудово, але ціною подовження війни на довгі місяці, оскільки обидва елементи потребували жахливо ускладненого очищення (або, у разі плутонію, синтезування, а потім очищення). Тож лише для того, щоб обійтися меншими зусиллями, деякі прагматичні вчені вирішили відмовитися від традиційних підходів, теоретичного та експериментального, і рушити третім шляхом.

Для початку вони обирали випадкову швидкість для нейтрона, який підстрибує в купі плутонію (або урану). Потім обирали для нього випадковий напрямок і ще більше випадкових чисел для інших параметрів, як-от доступна кількість плутонію, шанс, що нейтрон уникне плутонію ще до поглинання, навіть геометрія та форма плутонієвої купи. Зауважимо, вибір конкретних цифр означав, що вчені визнавали універсальність кожного розрахунку, оскільки результати застосовувалися лише до кількох нейтронів в одній із багатьох конструкцій. Учені-теоретики ненавидять відмову від загальновибраних результатів, але іншого виходу в них не було.

У цей момент кімнати, повні молодих жінок з олівцями (багато з них — дружини вчених, яких найняли на допомогу, бо їм було до смерті нудно в Лос-Аламосі), отримували аркуш із випадковими числами й починали обраховувати (інколи не знаючи, що все це означає), як нейтрон зіткнувся з атомом плутонію; чи він був по-

глинутий; якщо в процесі були виділені нові нейтрони, то скільки саме; скільки нейтронів вибивають ті зі свого боку; і так далі. Кожна із сотень жінок зробила по одному вузькому розрахунку на конвеєрі, і вчені звели результати. Історик Джордж Дайсон описав цей процес як побудову бомб «чисельно, нейтрон за нейтроном, наносекунда за наносекундою... [методом] статистичного наближення, за допомогою якого відбувається випадкова вибірка подій... прослідковується через серію репрезентативних зрізів у часі, відповідаючи на нерозв'язне інакше питання про те, чи буде конфігурація термоядерною»*.

Іноді теоретична купа справді йшла ядерною реакцією, і це заховувалось як успіх. Коли кожен підрахунок закінчувався, жінки починали спочатку з іншими цифрами. А потім ще раз. І знову. І ще раз. «Клепальниця Розі», можливо, стала знаковим символом посиленої зайнятості жінок під час війни, але Мангеттенський проект нічого б не досяг, якби ці жінки не обчислювали вручну ті довгі таблиці даних. Вони стали відомі під неологізмом «комп'ютери», тобто обчислювачі.

Але чому цей підхід був таким різним? Переважно вчені прирівнювали кожне обчислення до експерименту і збирали лише віртуальні дані для плутонієвих та уранових бомб. Вони відмовилися від скрупульозного та взаєморегульованого процесу взаємодії теорії та лабораторних робіт і застосували методи, які один історик невітно описав як «зміщену... змодельовану реальність, котра запозичила як експериментальну, так і теоретичну сферу, злила ці запозичення й використала отриману суміш, щоби застовпити невідоме місце одразу ніде й усюди на звичайній методологічній мапі»*.

Звичайно, такі розрахунки були надійними настільки ж, наскільки надійними були початкові рівняння науковців, але тут їм пощастило. Частинки на квантовому рівні регулюються статистичними законами, а квантова механіка, попри всі її химерні та протиінтуїтивні особливості, є єдиною найточнішою науковою теорією серед будь-коли розроблених. Ба більше, велика кількість розрахунків, проведених ученими під час Мангеттенського проекту, додала їм великої впевненості — впевненості, яка була визнана виправданою після успішного випробування «Триніті» в штаті Нью-Мексико в середині 1945 року. Швидка та бездоганна детонація уранової бомби над Хіросімою та плутонієвої над

Нагасакі за кілька днів також засвідчили точність цього нетрадиційного підходу до наукових завдань — підходу, заснованого на розрахунках.

Після закінчення Мангеттенського проекту ізоляцію товариства було припинено, учені розійшлися по своїх домівках, аби помірковувати, що вони зробили (деякі з гордістю, а інші ні). Багато хто радісно забув час, проведений у калькуляційних кімнатах. Деякі, однак, були прикуті тим, що вони дізналися, зокрема такий собі Станіслав Улам. Улам, польський біженець, який провів довгі години в Нью-Мексико за гральними картами, одного дня 1946 року розкладав пасьянс і раптом почав замислюватися над питанням про шанси виграти будь-яку випадково роздану комбінацію. Єдине, що Улам любив більше, ніж карти, це розрахунки, тому він почав заповнювати сторінки імовірнісними рівняннями. Невдовзі проблема набула такої складності, що Улам розумно здався. Він вирішив, що краще розіграти сто здач і підрахувати, скільки відсотків він виграв. Досить просто.

Нейрони більшості людей, навіть більшості вчених, не встановили би зв'язку, але десь на середині своєї сотні пасьянсів Улам визнав, що використовував той самий основний підхід, що і вчені в «експерименті» зі створення бомб у Лос-Аламосі. (Зв'язки абстрактні, але порядок і розташування карт були схожі на випадкові входи, і «розрахунок» грав роль роздачі.) Незабаром він почав обговорювати це з другом, що любив розрахунки, Джоном фон Нейманом, ще одним європейським біженцем та ветераном Мангеттенського проекту. Улам і фон Нейман зрозуміли, наскільки потужним може бути метод, якщо вони зможуть універсалізувати його та застосувати до інших ситуацій із безліччю випадкових змінних.

У таких ситуаціях, замість намагатися врахувати кожне ускладнення, кожного метелика, який махає крильцями, вони просто визначали би проблему, обирали випадкові вхідні дані та діяли методом спроб і помилок. На відміну від експерименту, результати не були достовірними. Але, маючи достатню кількість розрахунків, учені могли б бути майже впевнені у високій точності.

Завдяки випадковому збігу обставин Улам і фон Нейман знали американських інженерів, що розробляли перші електронні комп'ютери, як-от ENIAC у Філадельфії. «Комп'ютери» Мангет-

тенського проекту врешті-решт використовували для розрахунків механічну систему перфокарт, але невтомний ENIAC показав більші перспективи для виснажливих ітерацій, які передбачали Улам і фон Нейман. Історично наука ймовірності сягає своїм корінням аристократичних казино, і незрозуміло, від якого з них походить назва для підходу Улама та фон Неймана. Але Улам любив хвалитися, що називав його на згадку про дядька, який часто позичав гроші, щоби пограти в азартні ігри на «добре відомий генератор випадкових цілих чисел (від нуля до тридцяти шести) у середземноморському князівстві».

Незалежно від цього метод Монте-Карло швидко розвивався. Він скоротив дорогі експерименти, і потреба у високоякісних симуляторах Монте-Карло сприяла ранньому розвитку комп'ютерів, що спонукало зробити їх швидшими та ефективнішими. Симбіотично, поява дешевих обчислень означала, що експерименти, імітації та моделі в стилі Монте-Карло почали використовувати в галузях хімії, астрономії та фізики, не кажучи вже про машинобудування та аналіз фондового ринку. Сьогодні, лише за два покоління, метод Монте-Карло (у різних формах) настільки домінує в деяких сферах, що багато молодих учених не усвідомлюють, наскільки ґрунтовно вони відійшли від традиційної теоретичної чи експериментальної науки. Загалом, доцільний тимчасовий захід — використання атомів плутонію та урану на зразок абака для обчислення ланцюгових ядерних реакцій — став незмінною особливістю наукового процесу. Він не тільки підкорив науку; він осів, улаштувався, асимілював і брав шлюби з іншими методами.

Однак 1949 року ця трансформація ще була в майбутньому. У ті ранні часи Уламів метод Монте-Карло здебільшого проштовхував наступне покоління ядерної зброї. Фон Нейман, Улам та їм подібні з'являлись у приміщеннях розміром із гімнастичний зал, де було встановлено комп'ютери, і таємничо запитували, чи не можуть вони запустити кілька програм, починаючи з 00:00 і до ранку. Зброя, яку вони розробляли протягом тих мертвих годин, була «суперовими», багатоступеневими пристроями, у тисячу разів потужнішими, ніж стандартні А-бомби. «Супери» використовували плутоній та уран для запалення зоряного синтезу в надважкому рідкому водню — складний процес, який ніколи не вийшов би за рамки секретних військових звітів і не потрапив у ракетні шахти без цифрових об-

числень. Як чітко підсумовував технологічну історію того десятиліття історик Джордж Дайсон, «комп'ютери приводили до бомб, а бомби — до комп'ютерів».

Після великої боротьби — пошуку правильної конструкції для «супера» — 1952 року науковці здійснили удар. Знищення атолу Еніветок у Тихому океані під час випробування «супера» ще раз показало безжальний блиск методу Монте-Карло. Проте вчені-бомбісти вже мали на підході дещо ще гірше, ніж «супери».

Атомні бомби можуть запропонувати вам два шляхи. Божевільний, який просто хоче вбити багато людей і зрівняти із землею багато будівель і може задовольнитися звичайною одноступеневою бомбою. Її легше побудувати, а великий спалах має задовольнити його потребу в спектаклі, а також наслідки, як-от стихійні торнадо та силуети жертв, випалені на цегляних стінах. Але якщо божевільний має терпіння і хоче зробити щось підступне, якщо він хоче надзюрити в кожную криницю і засіяти землю сіллю, то підірве брудну бомбу з кобальтом-60.

Якщо звичайні ядерні бомби вбивають жаром, то брудні — гамма-випромінюванням, злоякісним рентгенівським випромінюванням. Гамма-промені виникають унаслідок шалених радіоактивних подій і крім того, що страшно спалюють людей, ще й заглиблюються в кістковий мозок і роздирають хромосоми в білих кров'яних тільцях. Тільця просто гинуть або обертаються на ракові клітини, або ростуть без обмежень і, як люди, хворі на гігантизм, зрештою деформуються і вже не здатні боротися з інфекціями. Усі ядерні бомби виділяють деяку кількість випромінювання, але в брудних бомбах радіація — це все.

За стандартами деяких бомб навіть ендемічний лейкоз не є чимсь химерним. Ще один європейський біженець, який працював над Мангеттенським проектом, Лео Сілард — фізик, котрий, на власний жаль, приблизно 1933 року винайшов ідею самопідтримуваної ядерної ланцюгової реакції, 1950 року, уже мудрішим, більш тверезим чоловіком, розрахував, що коли розприскати по одному граму кобальту-60 на кожен квадратний кілометр Землі, то це забруднить її достатньою кількістю гамма-променів, щоби знищити людську расу; отака ядерна версія хмари, котра допомогла вбити динозаврів.

Такий пристрій складався з багатоступінчастої боеголовки, оточеної оболонкою з кобальту-59. Реакція поділу плутонію призведе до реакції синтезу у водні, і тільки-но та розпочнеться, очевидно, кобальтову оболонку та все інше буде знищено. Але не раніше, ніж щось станеться на атомному рівні. Там атоми кобальту поглинали б нейтрони від поділу та синтезу, що називається соління. Воно перетворювало б стабільний кобальт-59 на нестійкий кобальт-60, який потім падав би вниз, як попіл.

Багато інших елементів випромінюють гамма-промені, але в кобальті є щось особливе. Звичайні А-бомби можна перечекаати в підземних укриттях, оскільки їхні опади негайно вивергають гамма-промені і стають нешкідливими. Хіросіма та Нагасакі стали більш-менш придатними для проживання вже за кілька днів після вибухів 1945 року. Інші елементи поглинають зайві нейтрони, як алкоголь іще один шот у барі,— вони колись захворіють, але не протягом еонів. У цьому разі після початкового вибуху рівень радіації ніколи не підніметься занадто високо.

Кобальтові бомби диявольськи опиняються між цими крайнощами, рідкісний випадок, коли золота середина — це найгірше. Атоми кобальту-60 осідали би в землі, як крихітні міни. Досить багато одразу зникало б, але за п'ять років половина кобальту все одно була б активною. Цей стійкий пульс гамма-осколка означав би, що кобальтових бомб не можна було ні перечекати, ні витримати. На відновлення землі довелося б чекати ціле людське життя. Це насправді робить кобальтові бомби малоімовірною зброєю для війни, оскільки армія-завойовник не могла б окупувати територію. Але божевільний на випаленій землі не мав би таких сумнівів.

Захищаючись, Сілард сподівався, що його кобальтову бомбу — перший «пристрій кінця світу» — ніколи не побудують, і жодна країна (наскільки відомо громадськості) ніколи й не намагалася. Насправді Сілард задумав продемонструвати безумство ядерної війни, і люди справді цим скористалися. Наприклад, у фільмі «Доктор Стренджлав» радянські вороги мають кобальтові бомби. До Сіларда ядерна зброя була жахливою, але не обов'язково апокаліптичною. Після своєї скромної пропозиції Сілард сподівався, що люди оговтаються й відмовляться від ядерних боєприпасів. Навряд чи. Незабаром після того, як нав'язлива назва «прометій» стала офіційною, бомбу здобув і Радянський Союз. Невдовзі аме-

риканський та радянський уряди прийняли менш заспокійливу, але влучно названу доктрину *MAD*, тобто взаємне гарантоване знищення,— ідею, що (коли не брати до уваги результати) обидві сторони програють у будь-якій ядерній війні. Хоч ідіотське, як моральна мета, *MAD* усе ж стримувало людей від розгортання ядерних озброєнь як тактичної зброї. Натомість міжнародна напруженість посилилася холодною війною — боротьбою, яка настільки вразила наше суспільство, що навіть первісна таблиця Менделєєва не врятувалася від її плями.

Розширення таблиці, розширення холодної війни

97 Bk (247)	98 Cf (251)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)	9 F 18.998	28 Ni 58.693
106 Sg (271)	105 Db (268)	107 Bh (270)	108 Hs (277)	110 Ds (281)	112 Cn (285)	

1950 року у розділі «Міські балачки»* журналу *The New Yorker* надрукували цікаве повідомлення:

«Сьогодні нові атоми з'являються з приголомшливою, якщо не просто тривожною частотою, і Каліфорнійський університет у Берклі, учені якого виявили елементи 97 та 98, охрестив їх берклієм та каліфорнієм відповідно... Ці назви вразили нас — вони вказують на дивовижну відсутність передбачення реакції громадськості...

Зайняті вчені Каліфорнії, безсумнівно, сповістять днями про ще один або два нові атоми, але університет... назавжди втратив шанс увічнити себе в атомних таблицях з такою послідовністю, як-от університій (97), офій (98), каліфорній (99), берклій (100)».

Не бажаючи поступитися, учені з Берклі на чолі з Гленном Сіборгом та Альбертом Гіорсо відповіли, що їхня номенклатура на-

справді є превентивним заходом, покликаним обійти «жахливу можливість того, що після іменування елементів 97 і 98 «університетом» та «офієм» деякі жителі Нью-Йорка можуть здійснити відкриття елементів 99 і 100 і застосувати назви «ньюїй» та «йоркій».

Співробітники *The New Yorker* відповіли: «Ми вже працюємо в наших офісних лабораторіях над “ньюїєм” та “йоркієм”. Поки що в нас є лише назви».

Листи були веселими жартами у веселі для науковців із Берклі часи. Ці вчені створювали в нашій Сонячній системі перші нові елементи відтоді, як наднова почала все мільярди років тому. Чорт забирай, вони перевершили наднову, зробивши навіть більше елементів, ніж природні дев'яносто два. Ніхто, найменше вони самі, не міг передбачити, наскільки гірким стане незабаром створення і навіть найменування елементів — новим театром холодної війни.

Відомо, що Гленн Сіборг мав найдовший запис «Хто є хто» за всю історію. Видатний проректор у Берклі. Хімік, лауреат Нобелівської премії. Співзасновник спортивної ліги *Pac-10*. Радник президентів Кеннеді, Джонсона, Ніксона, Картера, Рейгана та Буша-старшого (Джорджа Герберта Вокера Буша) із питань атомної енергетики та гонки ядерних озброєнь. Керівник команди в Мангеттенському проєкті. І ще багато чого. Але його перше велике наукове відкриття, яке спонукало його до тих інших почесей, було результатом німої удачі.

1940 року колега та друг Сіборга, Едвін Макміллан, здобув даваю нагороду, створивши перший трансурановий елемент, який він назвав нептуній, на честь планети за Ураном. Бажаючи нових звершень, Макміллан далі зрозумів, що елемент дев'яносто три був досить хитким і міг перетворитися на елемент дев'яносто чотири, виплюнувши ще один електрон. Він серйозно шукав докази наступного елемента і тримав у курсі молодого Сіборга — худорлявого двадцятивосьмирічного вихідця зі штату Мічиган, який виріс у шведськомовній іммігрантській колонії, — інформуючи про свій прогрес, навіть обговорюючи технічні прийоми, поки вони приймали душ у тренажерному залі.

Але 1940 року відбулося дещо більше, ніж поява нових елементів. Після того як уряд США вирішив, нехай підпільно, підтриму-

вати опір державам Осі в Другій світовій війні, він почав збирати наукових зірок, зокрема Макміллана, для роботи над військовими проектами на кшталт радіолокації. Не настільки помітний, щоби його можна було вважати видатним, Сіборг опинився в Берклі наодинці з обладнанням Макміллана та повними знаннями про те, як його друг планував діяти далі. Поспіхом, побоюючись, що це може бути їхній єдиний шанс на славу, Сіборг та його колега накопичили мікроскопічний зразок елемента дев'яносто три. Після того як нептуній просочився крізь фільтри, вони просіяли радіоактивний зразок, розчиняючи надлишок нептунію, поки не залишилося лише зовсім трохи хімічної речовини. Учені довели, що атоми, які залишилися, мають бути елементом дев'яносто чотири, відриваючи електрон за електроном потужною хімічною речовиною, доки електричний заряд атомів не став більшим, ніж у будь-якого відомого елемента — +7.

З першої ж миті елемент дев'яносто чотири здавався особливим — і вірячи, що це останній можливий елемент, який можна синтезувати,— учені назвали його плутонієм, продовживши марш до краю Сонячної системи.

Несподівано ставши зіркою, Сіборг 1942 року отримав виклик переїхати до Чикаго та працювати у філії Мангеттенського проекту. Він привіз із собою студентів, а також техніка, своєрідного суперлакея на ім'я Ал (Альберт) Гюрсо. За темпераментом Гюрсо був протилежністю Сіборга. На знімках Сіборг незмінно фігурує в костюмі, навіть у лабораторії, тоді як Гюрсо одягнений вільно, йому зручніше в кардигані та сорочці із розстебнутим верхнім гудзиком. Гюрсо носив товсті окуляри в чорній оправі і дуже напомаджував волосся, а його ніс і підборіддя були загострені, трохи схожі на ніксонівські. Також, на відміну від Сіборга, Гюрсо драгували представники істеблішменту. (Він мусив би ненавидіти порівняння з Ніксоном.) Трохи по-дитячому, він не здобув ступінь вище бакалавра, не бажаючи піддавати себе дальшому навчанню. Проте, гордий, він вирушив за Сіборгом до Чикаго, щоб уникнути монотонної роботи в Берклі — монтажу детекторів радіоактивності. Коли він з'явився, Сіборг негайно залучив його до роботи — монтувати детектори.

Утім, ці двоє чудово ладили один з одним. Повернувшись до Берклі після війни (обоє обожнювали університет), вони почали синтезувати важкі елементи, як це було сказано в *The New Yorker*,

«із приголомшливою, якщо не просто тривожною частотою». Інші журналісти порівнювали хіміків, які відкривали нові елементи, із мисливцями на велику дичину 1800-х. Дійсно, дослідники викликали захоплення численних аматорів хімії всіма екзотичними видами, які вони здобули. Якщо цей лесливий опис відповідає дійсності, то наймогутнішими мисливцями з найбільшими слоновими рушницями, Ернестом Гемінгвеєм і Теодором Рузвельтом періодичної таблиці, були Гюрсо і Сіборг — які відкрили більше елементів, ніж будь-хто в історії, і розширили періодичну систему майже на одну шосту.

Співпраця розпочалася 1946 року, коли Сіборг, Гюрсо та інші почали бомбардувати радіоактивними частинками нестабільний плутоній. Цього разу замість нейтронних боєприпасів вони використовували альфа-частинки, скупчення двох протонів та двох нейтронів. Як заряджені частинки, що можна витягнути, махаючи перед носом механічного «віслюка» зарядом протилежного знаку, альфа-частинки легше прискорювати до високих швидкостей, ніж уперті нейтрони. До того ж, коли альфа поцілювала в плутоній, команда Берклі отримувала два нові елементи за кожен удар, оскільки елемент дев'яносто шість (протони плутонію та ще два) перетворювався на елемент дев'яносто п'ять, викинувши протон.

Як першовідкривачі дев'яносто п'ятого та дев'яносто шостого елементів, члени команди заслужили право дати їм назви (неофіційна традиція, незабаром охоплена гнівною плутаниною). Вони обрали америцій на честь Америки і кюрій — на честь Марії Кюрі. Відійшовши від звичної строгості, Сіборг оголосив про нові елементи не в науковому журналі, а в дитячому радіошоу «Кіз Кідс»¹. Не за віком розвинений малюк запитав пана Сіборга, чи він (ха-ха) не відкрив останнім часом якісь нові елементи. Сіборг відповів, що насправді відкрив і закликав дітей, які слухали передачу вдома, сказати своїм учителям викинути стару періодичну таблицю. «Судячи з пошти, яку я пізніше отримав від школярів,— згадував Сіборг у своїй автобіографії,— їхні вчителі були досить скептичними».

Продовжуючи експерименти з альфа-бомбардуванням, команда з Берклі відкрила берклій та каліфорній 1949 року, як уже було описано раніше. Пишаючись цими іменами і сподіваючись на невелике визнання, вони зателефонували до мерії Берклі та запросили на святкування. Співробітники мерії слухали й позіхали — ні мер,

¹ Юні всезнайки.— *Прим. перекл.*

ні його співробітники не бачили, що то за велика подія в періодичній системі. Тупість керівників міста засмутила Гюрсо. До того ж йому довелося виправдовуватися після мерова прочухана за те, що він назвав елемент дев'яносто сім берклієм і позначив його хімічним символом *Bm*, оскільки це робить елемент таким «смердючим». Згодом його, можливо, почали підколювати, що кожен підліток країни, який знається на скатології, побачить у школі представлений у періодичній системі як «*Bm*» Берклі і засміється¹. (На жаль, його було скасовано, і символом берклію став *Bk*.)

Попри холодний прийом мера, Каліфорнійський університет в Берклі продовжував вносити нові чорнильні записи в комірки періодичної системи, підтримуючи виробників шкільних таблиць, яким довелося замінювати застарілі. Команда виявила елементи дев'яносто дев'ять і сто, айнштайній і фермій, у радіоактивних коралах після випробування водневої бомби в Тихому океані 1952 року. Але їхньою експериментальною вершиною було створення елемента номер 101.

Оскільки елементи набувають нестабільності, коли набрякають від протонів, ученим було важко створити зразки, досить великі для бомбардування альфа-частинками. Отримання достатньої кількості айнштайнію (елемент дев'яносто дев'ять), щоби хоча б почати думати про перестрибування до елемента номер 101, вимагало бомбардування плутонію протягом трьох років. І це був лише перший крок у справжній машині Руба Голдберга². Для кожної спроби створити 101-й учені наносили невидимі крихітні шматочки айнштайнію на золоту фольгу й заливали її альфа-частинками. Потім опромінену золоту підкладку доводилося розчинити, оскільки її радіоактивність заважала б виявленню нового елемента. У попередніх експериментах з пошуку нових елементів учені в цей момент виливали зразок у пробірки, аби побачити, що з ним реагує, шукаючи хімічні аналоги елементам у періодичній таблиці. Але в елементі номер 101 для цього не вистачало атомів. Тому команді довелося визначити це «посмертно», розглядаючи те, що залишилося після

¹ Скатологія — наука про екскременти, *BM* (*bowel movement*) — випорожнення, а також кал, екскременти.— *Прим. перекл.*

² Машина Руба Голдберга, або машина Робінсона—Голдберга, або заумна машина,— це пристрій, який виконує дуже просту дію в надзвичайно складний спосіб — зазвичай шляхом довгої послідовності взаємодій за «принципом доміно».— *Прим. перекл.*

розпаду кожного атома,— це як складати автомобіль з уламків після бомбардування.

Така судово-медична робота була здійсненою — за винятком того, що крок опромінювання альфа-частинками можна було виконувати лише в одній лабораторії, а виявлення — зовсім в іншій, розташований за декілька миль. Тож під час кожного пробного запуску, поки золота фольга розчинялася, Гюрсо чекав надворі на своєму «фольксвагені», з увімкнутим двигуном, щоби доставити зразок до іншої будівлі. Команда робила це серед ночі, бо якщо застрягнути в пробці, радіоактивний зразок може потрапити на коліна Гюрсо і звести нанівець усі зусилля. Коли Альберт прибував до другої лабораторії, він стрімголов біг сходами, і зразок проходив ще одну швидку очистку, перш ніж потрапити в детектори останнього покоління, змонтовані самим Гюрсо,— детектори, якими зараз він пишався, оскільки вони були ключовим апаратом у більшості досконалих лабораторій важких елементів у всьому світі.

Добре вимуштрована команда завершувала процедуру, і однієї лютневої ночі 1955 року їхню роботу було винагороджено. Очікуючи, Гюрсо підключив свій детектор випромінювання до пожежної сигналізації будівлі, і, коли він нарешті виявив вибухову появу атома елемента номер 101, увімкнулася сирена. Це трапилося ще шістнадцять разів тієї ночі, і з кожним оглушливим виттям зібрана команда вибухала вітальними вигуками. На світанку всі пішли додому, п'яні від втоми та щасливі. Проте Гюрсо забув відключити свій детектор, що спричинило паніку серед працівників у будівлі наступного ранку, коли відсталий атом елемента номер 101 востаннє увімкнув сигнал тривоги*.

Уже вшанувавши рідне місто, штат і країну, команда з Берклі запропонувала для елемента номер 101 ім'я менделевій, на честь Дмитра Менделєєва. З наукового погляду це не вимагало великих зусиль. Але вони наважилися вшанувати російського вченого під час холодної війни, і в дипломатичному плані це не стало популярним вибором (принаймні в самих Сполучених Штатах; повідомляли, що прем'єр-міністру Хрущову це сподобалося). Але Сіборг, Гюрсо та інші хотіли продемонструвати, що наука вище дрібної політики, так чому ні? Вони могли дозволити собі бути великодушними. Невдовзі Сіборг вирушив до президента Кеннеді в його «Камелот», тобто Білий дім, а лабораторія Берклі пихкала далі під керівництвом Альберта

Гіорсо. Ця робота охопила всі інші ядерні лабораторії у світі, які було кинуте на перевірку арифметики Берклі. Одного разу, коли інша група, зі Швеції, заявила, що випередила Берклі щодо елемента під номером 102, Берклі швидко дискредитував цю претензію й натомість на початку 1960-х видобув цей елемент, назвавши його нобелій (на честь Альфреда Нобеля, винахідника динаміту та засновника Нобелівських премій), та елемент номер 103, лоуренсій (на честь Ернеста Лоуренса, засновника й директора радіаційної лабораторії Берклі — зараз «Національна лабораторія ім. Лоуренса в Берклі»).

Потім, 1964 року, стався Супутник-2.

Деякі росіяни розповідають міф про створення свого куточку планети. Дуже давно, кажуть вони, Бог ходив по землі, несучи в руках усі її мінерали, аби переконатися, що їх розподілено рівномірно. Якийсь час цей план добре працював. Тантал пішов в один край, уран в інший тощо. Але коли Бог дістався Сибіру, його пальці стали такими холодними й негнучкими, що він упустив усі метали. Руки в нього були занадто обморожені, щоби зібрати їх, і він з огидою залишив їх там. І цим, хваляться росіяни, пояснюються їхні величезні запаси корисних копалин.

Попри ці геологічні багатства, у Росії було виявлено лише два марні елементи періодичної системи — рутеній та самарій. Порівняйте цей жалюгідний перелік із десятками елементів, виявлених у Швеції, Німеччині та Франції. Список великих російських учених, окрім Менделєєва, є таким самим безплідним, принаймні порівняно з Європою. Через різні причини — деспотичні царі, аграрна економіка, погані школи, сувора погода — Росія просто ніколи не виховувала наукового генія, якого могла б мати. Вона навіть не могла отримати правильні основні наукові норми, як-от календар. Ще на початку ХХ століття Росія використовувала неправильний календар, який винайшли астрологи Юлія Цезаря і який залишив країну на кілька тижнів позаду Європи та її сучасного григоріанського календаря. Це відставання пояснює, чому «Жовтнева революція», яка 1917 року привела до влади Володимира Леніна та більшовиків, насправді сталася в листопаді.

Ця революція частково вдалася завдяки тому, що Ленін пообіцяв повернути відсталу Росію в потрібний бік, а радянське Політбюро

наполягало на тому, що вчені будуть першими серед рівних у новому раю робітників. Ці твердження відповідали дійсності протягом декількох років, оскільки науковці за часів Леніна працювали над своїми справами з незначним утручанням держави, і з'явилися деякі вчені світового класу, що мали значну підтримку держави. На додаток до того, що зробили вчених щасливими, гроші виявилися ще й потужною пропагандою. Помітивши, наскільки добре фінансують навіть посередніх радянських колег, науковці за межами Радянського Союзу сподівалися (і їхня надія привела їх до довіри), що нарешті могутній уряд визнав їхнє значення. Навіть в Америці, де на початку 1950-х процвітав маккартизм, учені часто ніжно дивилися на радянський блок за матеріальну підтримку наукового прогресу.

Насправді такі групи, як-от ультраправе «Товариство Джона Бірча», засноване 1958 року, уважали, що Сов'єти можуть бути навіть занадто кмітливими у своїй науці. Товариство виступило проти додавання фтору (іонів фтору) до водопровідної води для запобігання карієсу. Окрім йодованої солі, фторована вода є одним із найдешевших та найефективніших із будь-коли вживаних заходів охорони здоров'я, вона дозволяє більшості людей, які її п'ють, уперше в історії померти з власними зубами. Однак для «бірчистів» фторування було пов'язане зі статевим вихованням та іншими «брудними комуністичними змовами» для управління свідомістю американців. Наче у викривлених дзеркалах кімнати сміху, вони бачили зв'язок місцевих служб водопостачання та вчителів охорони здоров'я з Кремлем. Більшість американських учених із жахом спостерігали за антинауковим нагнітанням страхів «Товариством Джона Бірча» — на цьому тлі наукова риторика СРСР мала видаватися блаженною.

Однак під цією оболонкою прогресу розросталася метастазами пухлина. Йосип Сталін, який 1929 року взяв деспотичний контроль над Радянським Союзом, мав своєрідні уявлення про науку. Він розділив її — безглуздо, довільно й отруйно — на «буржуазну» й «пролетарську» і покарав усіх, хто практикував першу. Протягом десятиліть радянською програмою досліджень сільського господарства керував пролетарський селянин, «босий учений» Трохим Лисенко. Сталін практично закохався в нього, тому що Лисенко засудив як регресивну ідею про те, що живі істоти, зокрема зернові культури, успадковують риси та гени від своїх батьків. Правовірний марксист, він проповідував, що важливими є лише належне соці-

альне середовище (навіть для рослин) і що радянське оточення виявиться вищим за капіталістичне «свинське» середовище. Наскільки це було можливо, він також зробив біологію, засновану на генах, «незаконною» та заарештував або стратив дисидентів. Але лисенківщина ніяк не змогла підвищити врожайність сільськогосподарських культур, і мільйони колективізованих селян, змушених прийняти цю доктрину, голодували. Під час тих голодоморів видатний британський генетик похмуро описував Лисенка як «абсолютного невігласа щодо елементарних принципів генетики та фізіології рослин... Розмовляти з Лисенком було все одно, що намагатися пояснити диференційне числення людині, яка не знала таблиці множення на дванадцять».

Ба більше, Сталін не відчував мук совісті щодо арештів учених і примушування їх працювати на державу в рабських таборах. Він відправив багатьох учених до горезвісних нікелевих заводів та в'язниць навколо Норильська, у Сибіру, де температура регулярно опускалася до -60 °С. Норильськ, хоча це був передусім нікелевий рудник, постійно тхнув сіркою від дизельних вихлопів, і тамтешні вчені-раби видобували значну частину токсичних металів періодичної системи, зокрема арсен, свинець та кадмій. Забруднення було поширеним, воно заплямовувало небо, і залежно від того, який важкий метал був затребуваним, випадав рожевий або блакитний сніг. Коли затребуваними були всі метали, випадав чорний сніг (це іноді трапляється й сьогодні). Мабуть, найстрашніше, що, як повідомляється, і донині жодне дерево не росте в радіусі п'ятдесяти кілометрів від отруйних нікелевих плавильень*. Відповідно до жакливого російського почуття гумору, місцевий жарт каже, що бомжі в Норильську, замість благати про зміни, збирають у чашки дощ, випарюють воду і продають металобрухт за готівку. Жарти в сторону, більшість поколінь радянської науки було розтрачено на видобування нікелю та інших металів для радянської промисловості.

Абсолютний реаліст, Сталін також не довіряв моторошним, інтуїтивно незрозумілим галузям науки, як-от квантова механіка та теорія відносності. Ще 1949 року він розглядав питання щодо ліквідації «буржуазних» фізиків, які не відповідали комуністичній ідеології і не відмовлялися від цих теорій. Він відступив лише тоді, коли один хоробрий радник зазначив, що це може трошечки зашкодити радянській програмі ядерної зброї. До того ж, на відміну

від інших галузей науки, «серце» Сталіна ніколи не схиялося до чисток серед фізиків. Оскільки фізика пов'язана з дослідженнями зброї, улюбленими для Сталіна, і залишається агностиком у відповідь на запитання про людську природу, улюблених для марксизму, фізики за часів Сталіна уникнули найгірших зловживань, котрі було застосовано до біологів, психологів та економістів. «Залиште [фізиків] у спокої,— ласкаво дозволив Сталін.— Ми завжди зможемо розстріляти їх пізніше».

Проте є ще один вимір свободи, яку Сталін давав фізичним наукам. Він вимагав лояльності, а радянська програма ядерної зброї ґрунтувалася на одній лояльній особі — ученому-ядернику Георгію Фльорові. На найвідомішому своєму портреті Фльоров схожий на персонаж водевіля: посміхається, лисий спереду до тім'ячка, трохи товстуватий, з бровами-гусеницями та огидною строкатою краваткою — як хтось, хто носив би маленьку гвоздику на своєму лацкані.

Цей «дядечко Георгій» на вигляд визначається прихованою проникливістю. 1942 року Фльоров зауважив, що, попри великий прогрес у дослідженнях розщеплення урану, досягнутий за останні роки німецькими та американськими вченими, наукові журнали припинили публікації на цю тему. Фльоров дійшов висновку, що робота з розщеплення стала державною таємницею — а це може означати лише одне. У листі, який нагадував відомий лист Айнштейна Франкліну Рузвельту про початок Мангеттенського проекту, Фльоров попередив Сталіна про свої підозри. Сталін, збуджений параноїк, розбив фізиків на десятки й наказав розпочати власний проект атомної бомби Радянського Союзу. Але «Папа Джо» пощадив Фльорова і ніколи не забував про його вірність.

У наш час, знаючи, яким страшним був Сталін, легко лихословити Фльорова, позначати його як «Лисенко, частина друга». Якби Фльоров промовчав, Сталін ніколи не знав би про ядерну бомбу аж до серпня 1945 року. Випадок Фльорова також наводить на ще одне можливе пояснення відсутності в Росії наукової кмітливості: культура підлабузництва, яка є анафемою для науки. (За часів Менделєєва, 1878 року, російський геолог назвав мінерал, який містив самарій, елемент шістдесят два, на честь свого боса, якогось полковника Самарського, забутого бюрократа й гірничого чиновника і, мабуть, найменш гідного залишити своє прізвище в періодичній таблиці Менделєєва.)

Але випадок Фльорова неоднозначний. Він бачив розтрачені без користі життя багатьох колег — зокрема 650 вчених, що потрапили в одну незабутню чистку елітної Академії наук, багато з яких було розстріляно за зрадницьку «протидію прогресу». 1942 року Фльоров, якому було двадцять дев'ять років, плакав серйозні наукові плани та мав талант для їхньої реалізації. Замкнений на батьківщині, він знав, що грати в політику — це його єдина надія на успіх. І лист Фльорова справді спрацював. Сталін та його спадкоємці були настільки задоволені, коли 1949 року Радянський Союз продемонстрував власну ядерну бомбу, що за вісім років чиновники довірили «товаришу Фльорову» власну дослідницьку лабораторію. Це був ізольований об'єкт за сто тридцять кілометрів від Москви, у місті Дубна, вільний від утручання держави. Приєднатися до Сталіна було для молодого людини зрозумілим, хоча і морально недосконалим рішенням.

У Дубні Фльоров розумно зосередився на «науці біля дошки» — престижних, але езотеричних темах, які занадто важко пояснити неспеціалістам і які навряд чи можуть роздратувати вузьколобих ідеологів. А до 1960-х, завдяки лабораторії в Берклі, пошук нових елементів змістився від того, чим він був століттями — операції, під час якої ви забруднили руки, копаючи невідомі скелі, — до рідкісного полювання, у якому елементи «існували» лише як роздруківки від детекторів випромінювання, котрі працюють під керівництвом комп'ютерів (або як сирени пожежної сигналізації). Навіть обстріл важких елементів альфа-частинками вже не практикувався, оскільки важкі елементи не перебувають на одному місці досить довго, щоби стати мішенями.

Натомість учені заглибились у періодичну систему і спробували злити легші елементи. На перший погляд, усі ці проекти були суто арифметичними. Для елемента номер 102 ви можете теоретично розбити магній (номер дванадцять) об торій (номер дев'яносто) або ж ванадій (номер двадцять три) об золото (номер сімдесят дев'ять). Однак поєдналося мало комбінацій, тому вченим довелося витратити багато часу на розрахунки, щоби визначити, які пари елементів варті їхніх грошей та зусиль. Фльоров та його колеги наполегливо вивчали та копіювали методики лабораторії Берклі. І багато в чому завдяки йому наприкінці 1950-х Радянський Союз утратив репутацію застійного болота у фізичній науці. Сіборг, Гюрсо та

Берклі побили росіян елементами 101, 102 та 103. Але 1964 року, за сім років після Супутника-1, команда Дубни оголосила, що вперше створила елемент номер 104.

А в Берклі, де порпалися позаду з берклієм та каліфорнієм, шок змінився на гнів. Команда Берклі із пораненою гордістю взялася перевіряти радянські результати і, безумовно, відкинула їх як передчасні та схематичні. Тим часом Берклі задумав сам створити елемент номер 104 — що команда Гюрсо, з порадами Сіборга, зробила 1969 року. Однак на той момент Дубна здобула й елемент номер 105. Знову Берклі намагався наздогнати, увесь час оскаржуючи, що Сов'єти неправильно витлумачували власні дані — образа на рівні коктейлю Молотова. Обидві команди виробили 1974 року елемент номер 106, з інтервалом у кілька місяців, і до того часу вся міжнародна єдність, котру було продемонстровано з менделевієм, випарувалася.

Щоби зацементувати свої претензії, обидві команди почали давати назви «своїм» елементам. Влізати в списки — справа нудна, але цікаво зауважити, що команда Дубни вигадала для одного елемента ім'я дубній — подібно до берклію. Зі свого боку, Берклі назвав елемент номер 105 іменем Отто Гана, а потім, за наполяганням Гюрсо, назвав елемент номер 106 на честь Гленна Сіборга, живої людини, що не було «нелегітимним», але вважалося безтактним і роздратовано сприймалося як типово американський учинок. Ці «дуельні» назви елементів потрапили в академічні журнали всього світу, і видавці періодичної системи не знали, як дати цьому раду.

Дивно, але ці суперечки розтягнулися аж до 1990-х, до того моменту, коли — щоби додати сум'яття! — команда із Західної Німеччини пробігла повз сварку Штатів та Сов'єтів, аби заявити про власні назви для спірних елементів. Урешті-решт орган, який керує хімією, «Міжнародний союз фундаментальної та прикладної хімії» (IUPAC), повинен був утрутитися і взяти на себе роль арбітра.

IUPAC протягом тижнів командировав по дев'ять науковців до лабораторій-конкурентів, щоби розібратися з натяками та звинуваченнями та переглянути первинні дані. Дев'ять чоловіків також тижнями зустрічалися самотійно в трибуналі. Урешті-решт вони оголосили, що бійцям холодної війни доведеться взятися за руки й розділити почесні за кожен елемент. Це соломонове рішення ні-

кого не задовольнило: елемент може мати лише одну назву, комірکا в таблиці стала справжнім призом.

Нарешті 1995 року дев'ять мудреців попередньо оголосили офіційні назви елементів зі 104 до 109. Компроміс порадував Дубну й Дармштадт (домівку західнонімецької групи), але коли команда Берклі побачила, що сіборгій викреслили зі списку, з нею ледь не стався апоплексичний удар. Вони скликали пресконференцію, щоби сказати передусім таке: «Та чи не пішли б ви усі! Ми використовуємо таку назву в Сполучених Штатах АМЕРИКИ!» Потужний американський хімічний заклад, що видає престижні журнали, у яких дуже люблять друкуватися хіміки з усього світу, підтримав Берклі. Це змінило дипломатичну ситуацію, і дев'ять чоловіків покірно схилилися. Коли 1996 року з'явився справді остаточний список «подобається це комусь чи ні», він містив сіборгій на місці 106, а також офіційні назви сучасної таблиці: резерфордій (104), дубній (105), борій (107), гасій (108) та майтнерій (109).

Після своєї перемоги, передбачивши зв'язки з громадськістю, як то колись зауважив *The New Yorker*, команда Берклі розмістила поплямованого віком Сіборга поруч із величезною періодичною таблицею, і, коли його вузлистий палець указував приблизно в бік сіборгію, зробила світлину. Його мила посмішка не видає нічого із суперечки, перший залп якої пролунав тридцятьма двома роками раніше, а її гіркота пережила навіть холодну війну. Сіборг помер за три роки по тому.

Але така історія не може завершитися гладко. До 1990-х хімію Берклі було виснажено, вона кульгала за своїми російськими та особливо німецькими колегами. У надзвичайно швидкій послідовності між 1994 і 1996 роками німці наштампували елемент номер 110, який тепер називається дармштадтій (Ds), на честь своєї домашньої бази; елемент номер 111, рентгеній (Rg) на честь великого німецького вченого Вільгельма Рентгена; та елемент номер 112, доданий до періодичної системи в червні 2009 року, коперницій (Cn*)¹.

Німецький успіх, без сумніву, пояснив, чому Берклі так завзято захищав свої претензії на минулу славу: у нього не було перспекти-

¹ Після того було додано 113-й елемент, нігоній (Nh), 114-й — флеровій (Fl), 115-й московій (Mc), 116-й — ліверморій (Lv), 117-й — теннессин (Ts), 118-й — оганесон (Og). Отримання елемента номер 119 планується 2021 року.— Прим. перекл.

ви майбутньої радості. Утім, не бажаючи залишитися загубленим у темряві, Берклі затіяв переворот, найнявши 1996 року молодого болгарина на ім'я Віктор Нінов — який відіграв важливу роль у відкритті елементів 110 і 112,— подалі від німців, щоб оновити історію програми в Берклі. Нінов навіть виманив Альберта Гюрсо з напівпенсії («Нінов добрий, як молодий Ал Гюрсо»,— любив говорити Гюрсо), і лабораторія Берклі незабаром знову серфінгувала на хвилі оптимізму.

Для свого великого повернення 1999 року команда Нінова провела суперечливий експеримент, запропонований польським фізиком-теоретиком, який підрахував, що обстріл свинцю (елемент вісімдесят два) криптоном (елемент тридцять шість) просто може створити елемент номер 118. Багато хто засуджував цей розрахунок як нісенітницю, але Нінов, рішуче налаштований завоювати Америку, як уже завоював Німеччину, наполягав на експерименті. Створення елементів на той час переросло в багаторічне багатомільйонне виробництво, не те що брати на себе гру в преферансі, але експеримент із криптоном спрацював чудодійно. «Віктор мусив домовлятися безпосередньо з Богом»,— жартували вчені. Ба більше, елемент номер 118 негайно розпався, виплюнувши альфа-частинку й перетворившись на елемент номер 116, якого теж ніколи не бачили. Одним ударом Берклі забив два голи... тобто два елементи! По кампусу Берклі поширилися чутки, що команда винагородить старого Альберта Гюрсо персональним елементом номер 118, «гіорсієм».

Але... коли росіяни та німці спробували підтвердити результати, повторивши експерименти, то не змогли знайти ніякого елемента номер 118 — лише криптон та свинець. Цей нульовий результат міг бути зловмисним, тому частина команди Берклі повторно провела експеримент. Він також не показав нічого, навіть після місяців перевірки. Утрутилася спантеличена адміністрація Берклі. Коли вони оглянули оригінальні файли даних щодо елемента номер 118, то виявили дещо вкрай нудотне: даних не було. Будь-які докази існування елемента номер 118 були відсутні аж до подальшого аналізу даних, коли «результат» раптом матеріалізувався із хаотичних одиниць та нулів. Усі ознаки вказували на те, що Віктор Нінов, який контролював найважливіше обладнання — детектори випромінювання — та комп'ютерні програми, що ними керували, уставляв у свої файли

липові дані та видавав їх за справжні. Це була непередбачена небезпека, можливість езотеричного підходу до розширення періодичної системи: коли елементи існують лише на комп'ютерах, одна людина може обдурити весь світ, захопивши комп'ютери.

Напівмертвий від сорому, Берклі відкликав заявку на відкриття елемента номер 118. Нінова звільнили, а лабораторія Берклі зазнала значних скорочень бюджету, що ледь її не зруйнували. Нінов донині заперечує, що підробляв будь-які дані, — хоча, нехай йому дідько, після того як німецька лабораторія, де раніше працював болгарин, двічі перевірила його тамтешні експерименти, переглянувши старі файли даних, вона також відкликала деякі (хоч і не всі) висновки Нінова. Можливо, найгіршим було те, що американських учених було принижено — для роботи над важкими елементами вони мушили їздити до Дубни. І там, 2006 року, члени міжнародної команди оголосили, що, розбивши десять мільярдів мільярдів атомів кальцію об мішень із (відсахнемося!) каліфорнію, вони утворили три атоми елемента номер 118. Відповідно, заявку на елемент номер 118 буде оскаржено, і якщо таке станеться — а немає жодних підстав думати, що буде не так, — це відкриття ліквідує будь-який шанс появи «гіорсію» в періодичній системі. Росіяни контролюють ситуацію, оскільки це сталося в їхній лабораторії, і, як кажуть, вони віддають перевагу назві «флеровій» — на честь Георгія Фльорова.

Np P Th Am
Tc Cd Tl Bi Gd Ag
Cu V S

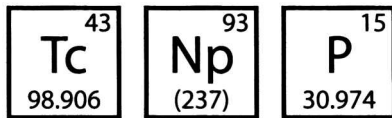
Частина III

**ПЕРІОДИЧНЕ ЗАМІЩАННЯ:
ВИНИКНЕННЯ
УСКЛАДНЕННЯ**

K I
Rh N Ti Be
Np Ag P Na
Th S Tl Cd
Cu V Gd

8

Від фізики до біології



Гленн Сіборг та Альберт Гіорсо вивели полювання на невідомі елементи на новий рівень витонченості, але навряд чи вони були єдиними вченими, що засівали чорнилами нові проміжки періодичної таблиці. Насправді, коли журнал *Time* назвав п'ятнадцять американських учених своїми «Людьми 1960 року», він обрав одним із відзначених не Сіборга чи Гіорсо, а найбільшого майстра елементів попередньої епохи, чоловіка, який упіймав найбільш слизький і невловимий елемент усієї таблиці, коли Сіборг ще навчався в аспірантурі,— Еміліо Серге.

Намагаючись надати обкладинці футуристичного вигляду, на ній зобразили крихітне червоне ядро, що пульсує. Замість електронів його оточують п'ятнадцять портретів, усі в тих самих аж надто серйозних, ходувльних позах, знайомих кожному, хто колись насміхався з офіційних шкільних фоток... На обкладинку потрапили світлини генетиків, астрономів, піонерів лазерної техніки та дослідників раку, а також поганенький знімок Вільяма Шоклі, ревнивого дослідника транзисторів і майбутнього евгеніка. (Навіть у цьому випуску Шоклі не втримався від викладання своїх расових теорій.) Попри подібність до традиційної світлини учнів випускного класу, це була блискуча команда, і *Time* провів старанний вибір, щоби прокуку-рікати про раптове міжнародне домінування американської науки.

За перші чотири десятиліття Нобелівської премії, до 1940 року, американські вчені отримали п'ятнадцять премій; а за наступні двадцять років — сорок дві*.

Сегре, котрий як іммігрант та єврей також відображав важливість біженців часів Другої світової війни для раптового наукового домінування Америки, у свої п'ятдесят п'ять був серед старших із п'ятнадцяти лауреатів. Його світлина містилась у верхньому лівому квадранті, вище та лівіше від іще старшого чоловіка — п'ятдесятидев'ятирічного Лайнуса Полінга, зображеного внизу посередині. Ці два чоловіки допомогли перетворити хімію періодичної системи і, хоч і не були близькими друзями, спілкувалися та обмінювалися листами на теми взаємних інтересів. Одного разу Сегре звернувся до Полінга за порадою щодо експериментів із радіоактивним берилієм. Пізніше Полінг запитав Сегре про тимчасову назву елемента вісімдесят сім (францій), який був відкритий за участі Сегре, і Полінг хотів згадати про це в статті для Британської енциклопедії, яку він писав на тему періодичної таблиці.

Ба більше, вони могли б легко — насправді мали б — бути колегами по факультету. 1922 року Полінг був гарячим новобранцем хімії з Орегону й написав листа Гілберту Льюїсу (хіміку, який постійно програвав Нобелівську премію) з Каліфорнійського університету в Берклі, запитуючи про тамтешню аспірантуру. Дивно, але Льюїс не відповів, тому Полінг вступив до Каліфорнійського технологічного інституту, де блистав як студент, а потім як викладач — до 1981 року. Лише пізніше в Берклі зрозуміли, що загубили лист Полінга. Якби Льюїс його побачив, він, безумовно, прийняв би Полінга, а потім — беручи до уваги політику Льюїса щодо збереження найкращих аспірантів як викладачів — зв'язав би Полінга з Берклі на все життя.

Пізніше Сегре приєднався б до Полінга. 1938 року Сегре став ще одним з єврейських біженців із фашистської Європи, коли Беніто Муссоліні вклонився Гітлеру і звільнив усіх єврейських викладачів в Італії. Хоч як це було погано, обставини призначення Сегре в Берклі виявилися такими ж принизливими. На момент звільнення Сегре був у відпустці й перебував у лабораторії радіації в Берклі — знаменитій кузині хімічного факультету. Раптом бездомний і наляканий, Сегре благав директора лабораторії взяти його до штату на повну ставку. Директор відповів: «Так, звичайно, але лише

на меншу зарплату». Він правильно припустив, що в Сегре немає інших варіантів, і змусив його прийняти зниження заробітної платні на 60 % — з гарних 300 доларів на місяць до 116. Сегре схилив голову і прийняв пропозицію, а потім послав за своєю сім'єю в Італію, гадаючи, як буде їх підтримувати.

Сегре пережив зневагу, і протягом наступних кількох десятиліть він і Полінг (особливо Полінг) стали легендами — кожний у своїй сфері. Сьогодні вони залишаються двома найбільшими науковцями, про яких більшість мирян ніколи не чула. Але головний забутий зв'язок між ними — *Time*, безумовно, про це не писав — полягає в тому, що Полінг і Сегре назавжди будуть об'єднані в скандалі через те, що зробили дві найбільші помилки в історії науки.

Ну, наукові помилки не завжди призводять до жалюгідних результатів. Вулканізований каучук, тефлон і пеніцилін — усе це помилки. Камілло Гольджі відкрив фарбування осмієм — техніку, завдяки якій стають видимими деталі нейронів, — після виливання цього елемента на тканину мозку. Навіть відверта брехня — твердження вченого шістнадцятого століття і протохіміка Парацельса про те, що ртуть, сіль і сірка є основними атомами Всесвіту, — допомогла відвернути алхіміків від розумових пошуків золота і взятися до відкриття справжнього хімічного аналізу. Безглузда незграбність і відверті промахи штовхали науку вперед протягом усієї історії.

Полінг та Сегре робили не такі помилки. Це були хиби типу «сховай свої очі» і «тільки босу не кажіть». На їх захист треба сказати, що обидва працювали в надзвичайно складних проектах, котрі, хоч і були засновані на хімії окремих атомів, перевернули цю хімію, щоби пояснити, як повинні поводитися системи атомів. З іншого боку, обидва чоловіки могли уникнути своїх помилок, вивчивши трохи уважніше саму періодичну таблицю, яку вони допомогли висвітлити.

Але повернемося до помилок. Жоден елемент не відкривали більше разів, ніж елемент сорок три. Це просто Лох-Несське чудовисько зі світу елементів.

1828 року німецький хімік оголосив про відкриття нових елементів — «полінію» та «плюранію», одним із яких, на його думку, був елемент сорок три. Обидва виявилися нечистим іридідом.

1846 року інший німець відкрив «ільменій», який насправді був ніобієм. Наступного року ще хтось відкрив «пелопій», який теж був ніобієм. Шукачі елемента сорок три нарешті отримали добру новину 1869 року, коли Менделєєв побудував свою періодичну таблицю й залишив дратівливий розрив між елементами сорок два і сорок чотири. І хоча сама наука була доброю, однак робота Менделєєва заохочувала багато поганих наук, оскільки переконувала людей шукати те, що вони мали схильність знайти. Звичайно, за вісім років один із російських колег Менделєєва написав у сорок третій комірці таблиці «давій», хоча той важив на 50 % більше, ніж мав би; пізніше його було визнано сумішшю трьох елементів. Нарешті 1896 року було відкрито «люцій» — і відкинуто як ітрій — саме перед настанням ХХ століття.

Нове століття виявилось ще жорстокішим. 1909 року Масатака Огава відкрив «ніппоній», названий так на честь батьківщини науковця (японською — Ніппон). Усі попередні штучні сорок треті були зараженими зразками або раніше виявленими мікроелементами.

Огава дійсно відкрив новий елемент — тільки не той, який проголосив. Поспішаючи спіймати сорок третій елемент, він проігнорував інші прогалини в таблиці, і коли ніхто не зміг підтвердити його роботу, Огава засоромлено відкликав її. Лише 2004 року один його земляк переглянув дані Огави та визначив, що учений, не знаючи про це, виділив сімдесят п'ятий елемент — реній, також не виявлений на той час. Залежно від того, якого типу ви людина (уважаєте склянку напівповною чи напівпорожньою), ви можете думати, що Огава був би посмертно радий дізнатися, що він хоч щось виявив, чи ж навпаки, ще більше засмутився через свою жахливу помилку.

Елемент сімдесят п'ять було безсумнівно відкрито 1925 року ще трьома німецькими хіміками — Отто Бергом та подружньою командою Вальтера та Іди Ноддак. Вони назвали його ренієм на честь річки Рейн. Одночасно вони оголосили про ще один замах на сорок третій елемент, який назвали «мазурієм» за іменем регіону Пруссії. З огляду на те, що десятиліттям раніше націоналізм знищив Європу, інші вчені не поглядали доброзичливо на ці тевтонські, навіть ура-патріотичні імена — і Рейн, і Мазурія були місцями німецьких перемог у Першій світовій війні. З'явився загальноєвропейський задум дискредитувати німців. Дані про реній здавалися надійними, тому вчені зосередилися на більш ескізній роботі щодо «мазурію».

На думку деяких сучасних учених, німці дійсно могли виявити елемент сорок три, але в статті тріо містилися недбалі помилки, як-от завищення в багато тисяч разів кількості «мазурію», який вони виділили.

Зрештою вчені, уже підозрілі щодо чергової претензії на сорок третій елемент, визнали знахідку недійсною.

Лише 1937 року два італійці ізолювали елемент номер сорок три. Для цього Еміліо Сегре та Карло Пер'є скористалися новою роботою з ядерної фізики. Елемент сорок три виявився таким невловимим до того часу, оскільки практично кожен його атом у земній корі внаслідок радіоактивного розпаду перетворився на молібден, елемент сорок два, мільйони років тому. Отже, замість просіювати тонни руди, як навіжені, заради кількох мікроунцій (як довелося Бергові та Ноддакам), італійці скористалися допомогою невідомого американського колеги, який, сам того не знаючи, уже виготовив трохи.

За кілька років до того американець Ернест Лоуренс (який колись назвав претензію Берга і Ноддаків на елемент сорок три «маренням») винайшов атомну дробарку під назвою «циклотрон» для масового виробництва радіоактивних елементів. Лоуренс був більше зацікавлений у виготовленні ізотопів наявних елементів, ніж у створенні нових, але коли 1937 року Сегре під час туру Америкою випадково відвідав лабораторію Лоуренса й почув, що циклотрон використовував змінні частини молібдену, його внутрішній лічильник Гейгера здичавів. Він обережно попросив поглянути на кілька викинутих клаптиків. Десь за місяць Лоуренс, виконуючи прохання Сегре, із задоволенням надіслав у конверті кілька зношених смужок молібдену до Італії. Передчуття Сегре виявилось правильним: на смужках вони з Пер'є знайшли сліди сорок третього елемента. Отак вони заповнили найбільш неприємну прогалину періодичної таблиці.

Природно, німецькі хіміки не відмовлялися від своїх претензій щодо «мазурію». Вальтер Ноддак навіть відвідав Сегре в італійському офісі й посварився з ним — і зробив це, одягнений у страшаючу квазівійськову форму, покриту свастиками. Це не сподобалося імпульсивному коротуну Сегре, який уже стикнувся з політичним тиском з іншого питання. Чинovníки університету Палермо, де працював Сегре, підштовхували його назвати свій новий

елемент «панормієм» за латинською назвою Палермо. Можливо, побоюючись націоналістичного наїзду, Сегре і Пер'є замість цього обрали «технецій» — «штучний» грецькою мовою. Це було нудно, але доречно, бо технецій був першим штучним елементом. Але назва не могла додати Сегре популярності, і 1938 року він узяв собі звичайну викладацьку закордонну відпустку в Берклі, до Лоуренса.

Немає жодних доказів, що Лоуренс затаїв злість на Сегре за його витівку з молібденом, але саме він принизив Сегре пізніше того ж року. Насправді Лоуренс, не звертаючи уваги на почуття італійця, випалив, наскільки щасливий був заощадити 184 долара на місяць, щоби витратити їх на обладнання, на його дорогоцінний циклотрон. Ох. Це було ще одним доказом того, що Лоуренс, за всієї своєї майстерності в забезпеченні засобів і керівництві дослідженнями, був недалекий щодо людей. Так само часто, як Лоуренс наймав одного геніального вченого, його диктаторський стиль відганяв іншого. Навіть його помічник, Гленн Сіборг, одного разу сказав, що все-світньо відома, славетна великим попитом радіоактивна лабораторія Лоуренса, а не якісь там європейці, повинна була відкрити штучну радіоактивність і поділ ядра, найважливіші відкриття в науці того часу. Пропустити й перше, й друге — це скандальний провал.

Проте Сегре, можливо, співчував Лоуренсу в цьому останньому випадку. Сегре був головним помічником легендарного італійського фізика Енріко Фермі 1934 року, коли той доповів світу (помилково, як з'ясувалося), що, бомбардуючи зразки урану нейтронами, він «відкрив» елемент дев'яносто три та інші трансуранові елементи. Фермі довгий час мав репутацію найшвидшого розуму в науці, але цього разу його миттєве судження завело його в оману. Насправді він пропустив набагато переконливіше відкриття, ніж трансуранові елементи: він фактично викликав поділ ядер урану за багато років до того, ніж будь-хто інший це зрозумів, — і не усвідомив. Коли 1939 року два німецькі вчені спростували результати Фермі, уся його лабораторія була приголомшена — він уже отримав за це Нобелівську премію. Особливо засмученим був Сегре. Його команда відповідала за аналіз і виявлення нових елементів. Ба більше, Сегре миттєво згадав, що 1934 року він (серед інших) прочитав статтю про можливість поділу й відкинув її, як погано продуману і необґрунтовану, — статтю Іди Ноддак, «що за кляте невезіння, це ж стаття Іди Ноддак!»*.

Сегре, що згодом став відомим ученим-істориком (а також, до речі, відомим мисливцем за лісовими грибами), написав про помилку поділу у двох книжках, двічі сказавши те саме: «Поділ ядер... утік від нас, хоча саме нашу увагу звернула Іда Ноддак, коли надіслала нам статтю, у якій чітко вказала на можливість цього... Причина нашої сліпоти незрозуміла*». (Як історичну цікавинку він міг би також указати на те, що дві людини, які найближче підійшли до виявлення поділу, Іда Ноддак та Ірен Жоліо-Кюрі, дочка Марії Кюрі, і людина, яка врешті-решт знайшла його, Ліза Майтнер, усі були жінками).

На жаль, Сегре засвоїв урок про відсутність трансуранових елементів занадто буквально, і незабаром отримав власний скандальний провал. Приблизно 1940 року вчені припустили, що елементи безпосередньо до й одразу після урану є перехідними металами. Згідно з їхньою арифметикою, дев'яностий елемент опинився в четвертому стовпці, а перший неприродний елемент, номер дев'яносто три,— у сьомому, під технецієм. Але, як показує сучасна таблиця, елементи поблизу урану не є перехідними металами. Вони перебувають у нижній частині таблиці під рідкісноземельними елементами і в хімічних реакціях діють як вони, а не як технецій. Причина тодішньої сліпоти хіміків зрозуміла. Попри свою пошану до періодичної системи, вони не сприймали періодичність досить серйозно. Вони вважали, що рідкісноземельні елементи — це дивні винятки, химерна та в'язка хімія яких ніколи не повториться. Але вона повторюється: уран та інші ховають електрони у *f*-оболонках так само, як рідкісноземельні. Отже, вони повинні зістрибнути з основної періодичної таблиці в те саме місце і так само поводитись у реакціях. Просто? Принаймні в ретроспективі. За рік після сенсаційного відкриття поділу сусід Сегре по коридору вирішив знову спробувати знайти дев'яносто третій елемент й опромінив у циклотроні трохи урану. Уважаючи (з наведених вище причин), що цей новий елемент діятиме як технецій, він попросив допомоги в Сегре, оскільки той відкрив технецій і знав його хімію краще за всіх. Сегре, завзятий мисливець за елементами, випробував зразки. Слідом за своїм кмітливим наставником Фермі італієць оголосив, що вони діють як рідкісноземельні, а не як важкі кузени технецію. Черговий тривіальний ядерний поділ, заявив Сегре і без довгих роздумів видав статтю із похмурою назвою «Невдалий пошук трансуранових елементів».

Але поки Сегре рухався далі, цей сусід, Едвін Макміллан відчував занепокоєння. Усі елементи мають унікальні радіоактивні сигнатури, а «рідкісноземельні» Сегре мали не такі, як інші рідкісноземельні елементи, що було позбавлено сенсу. Після ретельного переосмислення Макміллан зрозумів, що, можливо, зразки діяли як рідкісноземельні елементи, оскільки були їхніми кузенами і теж перебували поза основною таблицею. Тож він із партнером зробив повторне опромінення та хімічні тести, відкинувши думку Сегре, і негайно виявив перший заборонений в природі елемент — нептуній. Іронія занадто гарна, щоби замовчати про неї. Під впливом Фермі Сегре помилково ідентифікував продукти поділу ядер як трансураниди. «Мабуть, нічого не навчившись на цьому досвіді,— згадував Glenn Сіборг,— Сегре ще раз не побачив потреби продовжувати ретельну хімію». І з чітко протилежною помилкою Сегре недбало визначив трансурановий нептуній як продукт поділу.

Хоча Сегре, без сумніву, лютував на себе як на вченого, але як історик науки він, можливо, міг оцінити те, що сталося далі. За цю роботу Макміллан отримав Нобелівську премію з хімії 1951 року. Але за відкриття трансуранових елементів Шведська академія нагородила Фермі; тому замість визнання помилки вона демонстративно винагородила Макміллана лише за дослідження «хімії трансуранових елементів» (курсив додано). Знову ж таки, оскільки саме обережна, безпомилкова хімія привела його до істини, можливо, це не було зневагою.

* * *

Звичайно, Сегре виявився занадто самовпевненим, проте його промахи тьмяніють порівняно з помилками іншого генія, що перебував трохи далі по шосе I-5, у Південній Каліфорнії, Лайнусом Полінгом.

Після здобуття ступеня доктора філософії 1925 року Полінг отримав вісімнадцятимісячну стипендію в Німеччині, яка тоді була центром наукового всесвіту. (Подібно до того, як сьогодні всі вчені спілкуються англійською мовою, тоді було *de rigueur*, тобто вважалося пристойним, говорити німецькою.) Але те, що Полінг, якому не було ще й тридцяти, дізнався про квантову механіку в Європі, невдовзі просунуло хімію США далі за хімію Німеччини, а його самого — на обкладинку журналу *Time*.

Коротше кажучи, Полінг з'ясував, як квантова механіка керує хімічними зв'язками між атомами: міцністю зв'язку, довжиною зв'яз-

ку, кутом зв'язку, майже всім. Він був Леонардо в хімії — тим, хто вчиняв, як Леонардо: той, малюючи людей, уперше отримав правильні анатомічні деталі. І оскільки хімія передусім є вивченням зв'язків, які утворюють і розривають атоми, Полінг одноосібно модернізував сонне поле. Він абсолютно заслужив один із найвищих будь-коли зроблених наукових компліментів, коли його колега сказав, що Полінг довів, «що хімію можна *розуміти*, а не запам'ятовувати» (курсив додано).

Після цього тріумфу Полінг продовжував грати із загальною хімією. Незабаром він зрозумів, чому сніжинки шестигранні: через шестикутну структуру льоду. Водночас Полінгу, очевидно, свербіло вийти за межі простої фізичної хімії. Наприклад, в одному з його проєктів було визначено, чому серпоподібноклітинна анемія вбиває людей: неправильний гемоглобін в їхніх еритроцитах не може затримувати кисень. Ця робота щодо гемоглобіну виділяється як перший раз, коли хтось простежив хворобу до молекули, що неправильно функціонує*, і це змінило думку лікарів про медицину. А 1948 року Полінг, лежачи з грипом, вирішив зробити революцію в молекулярній біології, показавши, як білки можуть утворювати довгі циліндри, котрі називаються альфа-спіралі. Функція білка значною мірою залежить від його форми, і Полінг першим з'ясував, як окремі біти в білках «знають», якою є їхня правильна форма.

У всіх цих випадках справжній інтерес Полінга (крім очевидної користі для медицини) стосувався того, як майже дивом виникають нові властивості, коли маленькі німі атоми самостійно збираються в більші структури. Дійсно захопливим аспектом є те, що частини часто не дають жодного натяку на ціле. Так само, як ви ніколи не могли здогадатися, якщо самі цього не бачили, що окремі атоми вуглецю, кисню та азоту можуть об'єднатися в щось таке корисне, як амінокислота, ви й гадки не мали, що кілька амінокислот можуть скластися в усі білки, якими й є жива істота. Ця робота — вивчення атомних екосистем — була кроком у дальшу ускладненість, навіть порівняно зі створенням нових елементів. Але цей стрибок в ускладненість залишив також більше місця для неправильних тлумачень і помилок. У довгостроковій перспективі легкий успіх Полінга з альфа-спіралями виявився іронічним: якби він не помилявся щодо іншої спіральної молекули, ДНК, його, безсумнівно, уважали б одним із п'ятірки найвидатніших учених усіх часів.

Як і більшість інших, Полінг не цікавився ДНК до 1952 року, попри те, що швейцарський біолог Фрідріх Мішер відкрив її ще 1869 року. Мішер зробив це, виливаючи алкоголь і шлунковий сік свиней на просочені гноєм бинти (які місцеві лікарні із задоволенням йому давали) доти, доки не залишилася тільки якась липка, в'язка, тягуча сірувата речовина. Випробувавши її, Мішер негайно й самовіддано заявив, що дезоксирибонуклеїнова кислота виявиться важливою в біології. На жаль, хімічний аналіз показав, що вона має високий вміст фосфору. Тоді єдиною цікавою частиною біохімії вважалися білки, а оскільки вони зовсім не містять фосфору, ДНК сприйняли як пережиток, молекулярний апендикс*.

Лише вирішальний експеримент із вірусами 1952 року змінив це упередження. Віруси контактують із клітинами, закріплюючись у них, а потім, як комарі навиворіт, упорскують підступну генетичну інформацію. Але ніхто не знав, що переносить цю інформацію — білки чи ДНК. Отже, два генетики використовували радіоактивні індикатори, щоби позначити як фосфор у багатій на фосфор ДНК вірусів, так і сірку в їхніх багатих на сірку білках. Коли потім учені обстежили кілька захоплених клітин, то виявили, що віруси впорскували та передавали радіоактивний фосфор, а сірчані білки — ні. Отже, білки не могли бути носіями генетичної інформації. А ДНК була*.

Але що таке ДНК? Учені знали небагато. Вона йшла довгими нитками, і кожна нитка мала фосфорно-цукрову основу, неначе хребет у тварини. Були також нуклеїнові кислоти, які стирчали з основи, наче гудзики на хребті. Але форма ниток і спосіб їх зв'язування були загадками — до того ж важливими загадками. Як показав Полінг у випадку з гемоглобіном та альфа-спіралями, форма безпосередньо пов'язана з тим, як працюють молекули. Незабаром форма ДНК стала найбільш актуальним питанням молекулярної біології.

І Полінг, як і багато інших, уважав, що лише він досить розумний, аби відповісти на це питання. Це не було (або принаймні було не лише) завищеною самооцінкою: Полінг раніше ніколи не зазнавав невдач. Тож 1952 року він, озброївшись олівцем, логарифмічною лінійкою та уривчастими даними з других рук, сів за свій стіл у Каліфорнії, щоби розколоти ДНК. Спочатку він неправильно вирішив, що об'ємні шишечки нуклеїнових кислот сидять зовні кожної нитки. Жоден інший варіант не давав йому побачити, як молекула складається з окремих шматків. Відповідно, він повернув

фосфорно-цукровий хребет до ядра молекули. Використовуючи погані дані, Полінг також дійшов висновку, що ДНК є потрійною спіраллю. Це тому, що ті дані було взято з висушеної, мертвої ДНК, яка звивається інакше, ніж мокра, жива ДНК. Через це молекула здавалася більш скрученою, ніж вона є насправді, зав'язаною навколо себе тричі. Але на папері все це здавалося правдоподібним.

Усе було чудово, доки Полінг не попросив одного аспіранта перевірити його розрахунки. Аспірант перевірів і незабаром зав'язував себе вузлами, намагаючись зрозуміти, де він помилявся, а Полінг — ні. Урешті-решт він указав Полінгу, що, здається, молекули фосфату просто не підходять з елементарних причин. Попри те що на уроках хімії увага приділяється нейтральним атомам, досвідчені хіміки не думають про елементи так само. У природі, особливо в біології, багато елементів існують лише як іони, заряджені атоми. Дійсно, якщо прийняти запропоновану Полінгом модель, то атоми фосфору в ДНК завжди матимуть негативний заряд і, отже, відштовхуватимуться один від одного. Неможливо упакувати три ядра фосфату в серцевину ДНК, не розірвавши молекули на шматки.

Аспірант пояснив це, і Полінг, як справжній Полінг, ввічливо проігнорував його. Незрозуміло, чому Полінг узагалі потурбувався, щоби хтось перевірів його, якщо він не збирався слухати, але причина, з якої Полінг ігнорував аспіранта, очевидна. Він хотів наукового пріоритету — він хотів, щоби будь-яку іншу ідею ДНК сприймали як копію його ідеї. На відміну від своєї звичайної скрупульозності, він припустив, що анатомічні деталі молекули розробляться самостійно, і на початку 1953 року надіслав до друку свою модель потрійної спіралі з фосфором усередині.

А тим часом по той бік Атлантики два незграбні аспіранти Кембриджського університету зосереджено вивчали препрінт статті Полінга. Син Лайнуса Полінга, Пітер, працював у тій самій лабораторії, що і Джеймс Вотсон та Френсіс Крік*, і передав їм його із ввічливості. Нікому не відомі студенти відчайдушно бажали вирішити загадку ДНК, щоби зробити свою кар'єру. І те, що вони прочитали в статті Полінга, їх приголомшило: вони збудували те саме за рік до цього — і збентежено відмовилися від тієї моделі, коли колега показала, якою дурною ідеєю була їхня потрійна спіраль.

Однак під час цього прочухана згадана колега, Розалінд Франклін, видала таємницю. Вона спеціалізувалася на рентгенівській

кристалографії, яка показує форми молекул. Раніше того ж року вона дослідила мокру ДНК зі сперми кальмарів і виявила, що ДНК є двоспіральною. Полінг, коли навчався в Німеччині, теж вивчав кристалографію і, можливо, миттєво вирішив би загадку ДНК, якби побачив дані міс Франклін. (Його дані про висушену ДНК також були отримані шляхом рентгенівської кристалографії.) Однак Полінг був відвертим лібералом, через що маккартисти в Державному департаменті США відкликали його паспорт, і 1952 року він не зміг поїхати до Англії на важливу конференцію, де, можливо, почув би про роботу Франклін. А Вотсон і Крік, на відміну від Франклін, ніколи не ділилися даними з конкурентами.

Натомість вони сприйняли жорстку критику від неї, проковтнули свою гордість і почали працювати з її ідеями. І невдовзі після цього побачили всі свої попередні помилки, відтворені в статті Полінга.

Струсивши недовіру, вони кинулися до свого куратора Вільяма Брегга. Брегг отримав Нобелівську премію десятиліттям раніше, але останнім часом озлився з приводу перехоплення ключових відкриттів — як-от форма альфа-спіралі — Полінгом, його суперником, яскравим та, як сказав один історик, «нестриманим на язик шукачем слави». Брегг заборонив Вотсону та Кріку працювати над ДНК після їхнього позору з потрійною спіраллю. Але коли вони показали йому таку ж помилку в Полінга та визнали, що продовжують працювати потайки, Брегг узрів шанс все ж перемогти Полінга. Він наказав їм повернутися до вивчення ДНК.

Передусім Крік написав хитрого листа до Полінга, запитуючи, як це фосфорне ядро залишається цілим, — урахувуючи теорії Полінга, це неможливо взагалі. Це відволікло Полінга на марні розрахунки. Навіть тоді, коли Пітер Полінг попереджав батька про те, що двоє аспірантів наздоганяють його, Лайнус наполягав, що його триниткова модель виявиться правильною, що він майже має її. Знаючи, що Полінг, хоч і впертий, але не дурний, скоро побачить свої помилки, Вотсон і Крік поспішали знайти відповідь. Вони самі ніколи не проводили експериментів, а просто блискуче інтерпретували чужі дані. І 1953 року нарешті отримали відсутній ключ від іншого вченого.

Той чоловік сказав їм, що чотири нуклеїнові кислоти в ДНК (скорочено А, Ц, Т і Г) завжди виявляються в спарених пропорціях. Тобто якщо зразок ДНК містить 36 % А, то в ньому також завжди буде 36 % Т. Завжди. Те саме із Ц та Г. Із цього Вотсон та

Крік зрозуміли, що А і Т та Ц і Г повинні спаровуватися всередині ДНК. (За іронією долі, той же вчений сказав те саме Полінгу кількома роками раніше під час морського круїзу. Полінг, роздратований тим, що його відпочинок перервав гучноголосий колега, різко його обірвав.) Ба більше, чудо з чудес, у цих двох парах нуклеїнові кислоти щільно прилягають одна до одної, як шматочки пазла. Це пояснило, чому ДНК упакована настільки щільно,— і саме це унеможливило головну причину, яка спонукала Полінга повернути фосфор усередину. Отже, поки Полінг боровся зі своєю моделлю, Вотсон і Крік перевернули модель назовні, щоби негативні йони фосфору не відштовхували один одного. Це дало їм якусь виту драбину — знамениту подвійну спіраль. Усе було блискуче підтверджено, і ще до того, як Полінг одужав*, вони опублікували цю модель у випуску журналу *Nature* за 25 квітня 1953 року.

То як Полінг відреагував на публічне приниження потрійних спіралей та вивернутий фосфор? І на програш у змаганні за величне біологічне відкриття століття лабораторії свого суперника (не менше) Брегга? З неймовірною гідністю. Такою ж гідністю, яку, будемо сподіватися, усі ми зможемо продемонструвати в подібній ситуації. Полінг визнав свої помилки, визнав поразку й навіть запросив Вотсона та Кріка на професійну конференцію, яку він організував наприкінці 1953 року. Маючи таку репутацію, Полінг міг дозволити собі бути великодушним; його подальше відстоювання ідеї подвійної спіралі доводило, що таким він і був.

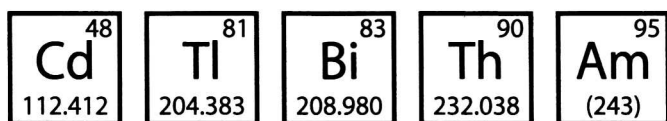
Після 1953 року все йшло краще як для Полінга, так і для Сегре. 1955 року Сегре та ще один учений із Берклі, Овен Чемберлен, відкрили антипротони. Антипротони — це дзеркальне відображення звичайних протонів: вони мають негативний заряд, можуть рухатися назад у часі і, страшно подумати, у разі контакту знищують будь-яку «справжню» матерію, як-от ви чи я. Після передбачення 1928 року існування антиречовини, один тип антиматерії — антиелектрон (або позитрон) було швидко й легко відкрито 1932 року. Проте антипротон виявився невловимим технецієм у світі фізики частинок. Той факт, що Сегре відстежив його після багатьох років фальстартів та сумнівних заяв, є свідченням його наполегливості. Ось чому за чотири роки, коли його ляпи було забуто, Сегре

отримав Нобелівську премію з фізики*. Цілком природно, що білий жилет для церемонії він позичив у Едвіна Макміллана.

Програвши першість щодо ДНК, 1954 року Полінг отримав утішний приз: власну Нобелівську премію з хімії. Як зазвичай він робив, Полінг почав дослідження в зовсім інших напрямках. Розчарований хронічними застудами, він почав експериментувати над собою, приймаючи мегадози вітамінів. Не ясно, з якої причини, але дози, схоже, його вилікували, і він схвильовано розповідав про це іншим. Як наслідок, його офіційне схвалення — лауреата Нобелівської премії! — дало імпульс шаленому захопленню харчовими добавками, яке залишається сильним і сьогодні, зокрема науково сумнівне (вибачте!) уявлення, ніби вітамін С може вилікувати застуду. Крім того, Полінг — який відмовився працювати над Мангеттенським проектом — став провідним світовим активістом у боротьбі проти ядерної зброї, виступаючи на акціях протесту та створюючи книжки із заголовками на кшталт «Більше ніяких війн!». 1962 року він навіть отримав другу, несподівану Нобелівську премію, Нобелівську премію миру, ставши єдиною людиною, яка виграла дві не розділені із кимось премії. Однак він розділив сцену в Стокгольмі з двома лауреатами в галузі медицини та фізіології — Джеймсом Вотсоном та Френсісом Кріком.

9

Коридор отруювачів: «Ой-ой»



Полінг пройшов дуже складний шлях, аж поки дізнався, що правила біології набагато делікатніші, ніж правила хімії. Ви можете майже зловживати амінокислотами хімічно і зрештою отримати ту ж купу збуджених, але цілих молекул. Під тим самим впливом, будь то тепло, кислота або, що найгірше, шкідливі елементи, тендітні та складніші білки живої істоти зав'януть. Найбільш злочинні елементи можуть використовувати будь-яку кількість вразливостей живих клітин, часто маскуючись під життєдайні мінерали та мікроелементи. І розповіді про те, як геніально ці елементи скасовують життя — подвиги «коридору отруювачів» — складають один із найтемніших сюжетів періодичної системи.

Найлегшим елементом у коридорі отруювачів є кадмій, який прославився завдяки стародавній шахті в Центральній Японії. Шахтарі почали викопувати дорогоцінні метали з шахт Каміюки ще 710 року. У наступні століття гори Каміюки давали золото, свинець, срібло та мідь, тому різні сьогуні, а потім бізнес-магнати змагалися за цю землю. Але лише за дванадцять століть після удару по першій рудній жилі шахтарі почали видобувати кадмій, метал, що знеславив шахти, і крик «Ітай-ітай!» зробився синонімом слова «страждання» в Японії.

Російсько-японська війна 1904–1905 років та Перша світова війна за десять років по тому значно збільшили японський попит на

метали, зокрема цинк, для використання в броні, літаках та боеприпасах. Кадмій розташований у періодичній таблиці під цинком, і два метали змішуються в земній корі так, що їх неможливо розрізнити. Для очищення цинку, видобутого в Каміюці, шахтарі, імовірно, обсмажували його, як каву, і просочували кислотою, видаляючи кадмій. Дотримуючись тогочасних екологічних норм, вони виливали залишок кадмієвого шламу в річки або на землю, звідки він потрапляв у ґрунтові води.

Сьогодні нікому не спаде на думку отак викидати кадмій. Він став надто цінним як антикорозійне покриття для батарей та комп'ютерних деталей. Також кадмій має давню історію використання в пігментах, дубильних речовинах та припоях. У ХХ столітті люди навіть використовували блискучий кадмій, щоб прикрашати модні чашки для пиття. Але головна причина, через яку сьогодні ніхто не викидав би кадмій, полягає в тому, що він має досить жахливі медичні особливості. Виробники прибрали його з модних чашок, оскільки щороку сотні людей хворіли, коли кислий фруктовий сік, як то лимонний, вимивав кадмій зі стінок посудини. І коли після терактів 11 вересня 2001 року в рятувальників на місці зруйнованого Світового торгового центру почали розвиватися респіраторні захворювання, деякі лікарі одразу запідозрили серед інших речовин кадмій, оскільки обвал веж призвів до випаровування тисяч електронних пристроїв. Це припущення було помилковим, але воно свідчить про те, як медичні працівники рефлекторно тикали пальцем в елемент сорок вісім.

На жаль, цей висновок був рефлекторним саме через те, що сталося століття тому біля шахт Каміюки. Уже 1912 року тамтешні лікарі помітили, що місцевих селян, які вирощували рис, почали косити жахливі нові хвороби. Селяни вдвічі частіше приходили з болями в суглобах і глибоко в кістках, і це особливо стосувалося жінок, на яких припадало сорок дев'ять із кожних п'ятдесяти випадків. Їхні нирки часто відмовляли, а їхні кістки розм'якшувалися й розривалися під тягарем щоденних справ. Один лікар зламав дівчині зап'ястя, рахуючи пульс. Ще одна таємнича хвороба вибухнула в 1930–1940-х, коли Японію охопив мілітаризм. Попит на цинк провокував збільшення кількості мулу, що стівав з гір, і хоча місцева префектура (японський еквівалент штату) була віддалена від реальних бойових дій, лише деякі райони країни постражда-

ли під час Другої світової війни настільки ж сильно, як райони навколо шахт Каміюки. Хвороба, що поширювалася селами, стала відома під назвою «ітай-ітай», тобто «ой-ой», за криками болю, які видавали жертви.

Лише після війни, 1946 року, місцевий лікар Нобору Хагіно почав вивчати хворобу ітай-ітай. Спочатку він запідозрив як причину недостатнє харчування. Ця теорія виявилася неспроможною сама собою, тому він переключив свою увагу на шахти, чії високотехнологічні західні методи розробки контрастували з примітивними селянськими рисовими плантаціями. За допомогою професора, спеціаліста з громадської охорони здоров'я, Хагіно створив епідеміологічну карту, на якій було зафіксовано випадки ітай-ітай. Він також склав гідрологічну карту, яка показувала, де річка Дзінцу, яка протікала повз шахти, нижче за течією зрошувала селянські поля і відкладала свій мул. Накладені одна на одну, карти майже збігалися. Проаналізувавши місцеві культури, Хагіно зрозумів, що рисирець — це кадмієва губка.

Кропітка робота незабаром виявила кадмієву патологію. Цинк є важливим мінералом, а кадмій, так само як він змішується із цинком у землі, перешкоджає йому і в організмі, замінюючи його. Також кадмій іноді витісняє сірку й кальцій, що пояснює, чому він впливав на кістки людей. На жаль, кадмій є невдалим елементом і не може виконувати ті самі біологічні ролі, що й інші. Ще гірше, що коли кадмій проникає в організм, його неможливо видалити. Недостатнє харчування, яке підозрював спочатку Хагіно, також відіграє свою роль. Місцева дієта сильно залежала від рису, якому бракує необхідних поживних речовин, тому тіла селян було позбавлено певних мінералів. Кадмій імітував ці мінерали настільки добре, що клітини селян, зневірившись у харчуванні, почали поглинати його ще більш високими темпами, ніж мали б.

Хагіно оприлюднив свої результати 1961 року. Передбачувано і, можливо, зрозуміло, що юридично відповідальна гірничодобувна компанія *Mitsui Mining and Smelting* заперечила всі протиправні дії (вона лише придбала компанію, яка завдала шкоди). На свій сором, *Mitsui* ще й розпочала кампанію з дискредитації Хагіно. Коли формувався місцевий медичний комітет для розслідування ітай-ітай, *Mitsui* доклала зусиль, щоби комітет виключив зі свого складу Хагіно, світового експерта з цієї хвороби. Хагіно зміг це обійти,

досліджуючи випадки ітай-ітай у Нагасакі, що лише підкріпило його твердження. Урешті-решт через докори сумління місцевий комітет, попри те, що його висунули проти Хагіно, визнав, що кадмій може спричинити цю хворобу. У відповідь на оскарження цього непомітного рішення вражений доказами Хагіно національний урядовий комітет з охорони здоров'я постановив, що ітай-ітай спричинене кадмієм. До 1972 року гірничодобувна компанія почала виплачувати реституцію 178 вцілілим, що складала понад 2,3 млрд йен щороку. Тринадцять років по тому жах перед сорок восьмим елементом ще зберігався в Японії на такому рівні, що коли кінематографістам знадобилося вбити Годзіллу в останній на той час серії «Повернення Годзілли», японські військові у фільмі запустили в монстра ракети з кадмієвим наконечником. Беручи до уваги, що життя Годзіллі дала Н-бомба, це досить похмурий погляд на цей елемент.

Проте хвороба ітай-ітай не була поодиноким випадком у Японії минулого століття. Ще тричі в 1900-х (двічі через ртуть, один раз через діоксид сірки та діоксид азоту) японські селяни ставали жертвами масових промислових отруень. Ці випадки відомі як Велика четвірка хвороб забруднення Японії. Крім того, ще тисячі людей постраждали від радіаційного отруєння, коли 1945 року Сполучені Штати скинули на країну уранову та плутонієву бомби. Але атомним бомбам і трьом отруєнням із Великої четвірки передував довго замовчуваний голокост поблизу Каміюкі. Але не мовчали тамтешні мешканці — вони кричали від болю. «Ітай-ітай».

Жахливо, але кадмій — це навіть не найгірша отрута серед елементів. Він розташований над ртуттю, нейротоксином. А праворуч від ртуті перебувають найжахливіші персонажі періодичної системи: талій, свинець та полоній — ядро коридору отруювачів.

Це скупчення є частково випадковим, але існують законні хімічні та фізичні причини високої концентрації отрут у південно-східному куті. Одна з них, як це не парадоксально, полягає в тому, що жоден із цих важких металів не є летким. Сирий натрій або калій, якщо його проковтнути, вибухне при контакті з кожною клітиною всередині вас, оскільки вони реагують із водою. Але калій і натрій настільки реактивні, що в природі ніколи не з'являються в чистому, небезпечному вигляді. Елементи коридору отруювачів витон-

ченіші і можуть мігрувати дуже глибоко всередину тіла. Ба більше, ці елементи (як і багато важких металів) можуть віддавати різну кількість електронів залежно від обставин. Наприклад, якщо калій завжди реагує як K^+ , талій може бути Tl^+ або Tl^{3+} . Унаслідок цього останній може імітувати безліч елементів і вбудовуватися в безліч різних біохімічних ніш.

Ось чому талій, елемент вісімдесят один, вважають найбільш смертоносним елементом у таблиці. Клітини тварин мають спеціальні іонні канали для всмоктування калію, і талій в'їжджає в організм цими каналами, часто шляхом осмосу крізь шкіру. Потрапляючи в організм, талій уже не прикидається калієм і починає розв'язувати ключові амінокислотні зв'язки всередині білків і розплутувати їхні складні переплетення, роблячи їх марними. На відміну від кадмію, талій не прилипає до кісток чи нирок, а кочує як молекулярна монгольська орда. Кожен його атом може завдати величезної шкоди.

Саме з цих причин талій відомий як отрута отруювачів, елемент для людей, які отримують майже естетичне задоволення від присмачування їжі та напоїв токсинами. У 1960-х відомий британський хлопець на ім'я Грем Фредерік Янг, прочитавши сенсаційні розповіді про серійних убивць, почав експериментувати над членами своєї сім'ї, посипаючи талієм їхні чашки та каструлі. Невдовзі його відправили до психіатричної установи, але згодом безвідповідально відпустили, після чого він отруїв ще сімдесят людей, зокрема кілька своїх босів. Лише троє померли, оскільки Янг подбав про те, щоби подовжити їхні страждання дозами меншими, ніж летальні.

Жертви Янга навряд чи самотні в історії. Талій має моторошний перелік* убивств шпигунів, сиріток і бабусь із великими маєтками. Але замість переживати темні сцени, можливо, краще згадати єдине використання елемента номер вісімдесят один у комедії (щоправда, хворобливій). У роки одержимості Кубою ЦРУ розробило план припудрити шкарпетки Фіделя Кастро тальком, забрудненим талієм. Особливо веселив шпигунів той факт, що отрута призведе до того, що, перш ніж він загине, усе його волосся, зокрема знаменита борода, випаде, а це, як вони сподівалися, знеславить Кастро перед його товаришами. Чому цей план ніколи не спробували, досі невідомо.

Ще одна причина, з якої талій, кадмій та інші споріднені елементи так уміло працюють отрутами, полягає в тому, що вони стабільні

протягом еонів. Я не просто маю на увазі, що вони накопичуються в організмі, як це робить кадмій. Навпаки, як і кисень, ці елементи, найвірогідніше, утворюють стійкі, майже сферичні ядра, які ніколи не переходять у радіоактивні. Отже, чимала кількість кожного з них все ще перебуває в земній корі. Наприклад, найважчий і вічно стабільний елемент свинець перебуває в комірці номер вісімдесят два — магічне число! А найважчий майже стабільний елемент бісмут є його сусідом — він у комірці номер вісімдесят три.

Оскільки бісмут відіграє особливу роль у коридорі отруювачів, цей дивний елемент заслуговує на більш детальний розгляд. Деякі короткі факти про бісмут: хоча це білуватий метал із рожевим відтінком, горить він синім полум'ям і виділяє жовті пари. Як і кадмій та свинець, бісмут знайшов широкое застосування у фарбах та барвниках, і він часто замінює «червоний свинець» у тріскучих феєрверках, відомих як драконові яйця. Крім того, із майже нескінченної кількості можливих хімічних речовин, які ви можете зробити, комбінуючи елементи з періодичної таблиці, бісмут є одним із небагатьох, що розширюється при замерзанні. Ми не замислюємося, наскільки це химерно, тому що цю властивість має звичайний лід, який пливе водоймами, а під ним ковзає риба. Теоретичне озеро бісмуту поводитися б так само — і це майже унікально для періодичної таблиці, оскільки тверді речовини практично завжди упаковують себе щільніше, ніж рідини. Ба більше, цей бісмутовий лід, мабуть, був би чудовим. Бісмут став улюбленою прикрасою для робочого столу та декоративною дрібницею для мінералогів та інших любителів елементів, оскільки він може утворювати гірські породи, що відомі як бункерні кристали й перетворюються на складні веселкові візерунки. Щойно заморожений бісмут може мати такий вигляд, ніби розфарбовані малюнки М. К. Ешера стали реальністю.

А ще бісмут допоміг ученим дослідити глибшу структуру радіоактивних речовин. Протягом десятиліть науковці не могли розв'язати суперечливі розрахунки щодо того, чи проіснують певні елементи до кінця часів. Тож 2003 року фізики у Франції взяли чистий бісмут, сповили його складними щитами, щоби заблокувати всі можливі зовнішні втручання, і дротовими детекторами, аби спробувати визначити його період напіврозпаду — кількість часу, за який розпадається 50 % зразка. Період напіврозпаду — це звичайне вимірювання радіоактивних елементів. Якщо ковшу зі ста фунтами

радіоактивного елемента X потрібно 3,14159 року, щоби скинути п'ятдесят фунтів, то період напіврозпаду становить 3,14159 року. За наступні 3,14159 року ви мали б двадцять п'ять фунтів. Ядерна теорія передбачала, що бісмут повинен мати період напіврозпаду двадцять мільярдів мільярдів років, що значно перевищує вік Усесвіту. (Ви можете помножити вік Усесвіту на нього ж і наблизитися до наведеного числа — і все одно матимете вірогідність п'ятдесят на п'ятдесят, що побачите, як зникає якийсь атом бісмуту.)

Французький експеримент був більш-менш реальною версією «Чекаючи на Годо»¹. Як не дивно, але це спрацювало. Французькі вчені зібрали достатньо бісмуту і проявили достатньо терпіння, щоби засвідчити низку розпадів. Цей результат довів, що, замість бути найважчим стабільним атомом, бісмут буде жити лише досить довго, щоби стати останнім елементом, який зникне. (Подібний «Бекетівський» експеримент проводиться зараз в Японії, щоби визначити, чи вся матерія в решті-решт розпадеться. Деякі вчені підраховують, що протони, будівельні блоки елементів, є дещо нестійкими і мають період напіврозпаду щонайменше 100 мільярдів трильйонів трильйонів років. Безстрашні сотні вчених створили величезний підземний басейн надчистої, надтихої води глибоко всередині шахти, оточивши його кільцями надчутливих датчиків, що спрацюють у разі, якщо протон розпадеться під час їхньої вахти. Таке, мабуть, малоімовірно, але це набагато більш доброзичливе використання шахт Каміюки, ніж раніше.)

Утім, настав час дізнатися всю правду про бісмут. Так, він технічно радіоактивний, і його координати в періодичній системі підказують, що вісімдесят третій елемент повинен бути для нас жахливим. Він розділяє стовпець з арсеном та стибієм і розташований серед найгірших отрут — важких металів. Проте насправді бісмут доброякісний. Це навіть ліки: його призначають, щоби заспокоїти виразки, і це «біс» у яскраво-рожевому «Пепто-Бісмолі»². (Коли люди страждали на діарею через забруднений кадмієм лимонад, протиотрутою зазвичай був бісмут.) Загалом, бісмут найменше відповідає своєму місці у таблиці. Таке твердження може викликати невдоволення в хіміків та фізиків, які хочуть знайти в періодичній

¹ «Чекаючи на Годо» Семюела Бекета — один із найбільш визначних творів театру абсурду.— *Прим. перекл.*

² Препарат проти виразки та діареї.— *Прим. перекл.*

системі математичну узгодженість. Насправді це ще один доказ, що таблиця наповнена цікавими та непередбачуваними історіями, якщо ви знаєте, де шукати.

Тож, замість називати бісмут найдивнішою аномалією, ви можете вважати його різновидом «благородного металу». Подібно до того, як мирні благородні гази розщеплюють періодичну таблицю між двома групами насильницьких, але по-різному насильницьких елементів, тихий бісмут знаменує перехід коридору отруювачів від обговорених вище традиційних отруйних речовин, що викликають блювання та сильні болі, до палючих радіоактивних отрут, котрі буде описано нижче.

За бісмутом приховується полоній — отрута отруювача ядерної епохи. Подібно до талію, він змушує волосся випадати, як це виявив світ у листопаді 2006 року, коли Олександра Литвиненка, колишнього агента КДБ, було отруєно суші, присмаченим полонієм, у лондонському ресторані. За полонієм (пропускаючи, на цей момент, надзвичайно важкий елемент астат) розташовується радон. Як благородний газ радон не має кольору й запаху і ні з чим не реагує. Але як важкий елемент він витісняє повітря, занурюється в легені й викидає летальні радіоактивні частинки, котрі неминуче призводять до раку легенів — лише ще один спосіб, яким коридор отруєння може вас знищити.

Дійсно, радіоактивність домінує внизу періодичної таблиці. Вона відіграє ту саму роль, яку виконує правило октету для елементів, що перебувають угорі: майже все корисне щодо важких елементів походить від того, у який спосіб і як швидко вони переходять у радіоактивний стан. Мабуть, найкраще це можна проілюструвати за допомогою історії молодого американця, який, подібно до Грема Фредеріка Янга, був одержимий небезпечними елементами. Але Девід Ган не був соціопатом. Його згубна юнацька пристрасть виникла через бажання допомагати людям. Цей шістнадцятирічний детройтський підліток хотів вирішити світову енергетичну кризу та позбутися залежності від нафти настільки сильно — так сильно, як тільки підліток може чогось захотіти, — що в рамках підпільного скаутського проекту «Орел-скаут» дійшов стану берсерка і в середині 1990-х установив ядерний реактор у сараї на подвір'ї своєї матері*.

Девід почав з малого, під впливом видання «Золота книжка хімічних експериментів», написаного в тому самому серйозному тоні,

що й навчальний фільм 1950-х. Він так захопився хімією, що мати його подруги заборонила йому говорити з гостями на її вечірках, бо в інтелектуальному плані його розмови були еквівалентні розмові з повним ротом: він випалював неапетитні факти про хімічні речовини, що містяться в їжі, яку подавали гостям. Але його інтерес був не лише теоретичним. Як і багато хіміків попереднього періоду, Девід швидко переріс свій хімічний набір і почав грати з хімікатами, досить сильними, щоби підірвати до біса стіни його спальні та килим. Незабаром мати прогнала його до підвалу, а потім до сараю на задньому дворі, що його цілком улаштувало. Однак, на відміну від багатьох учених-початківців, Девід, здається, не покращував хімію. Одного разу, перед збором бойскаутів, він фарбував шкіру в помаранчевий колір, коли саморобна хімія для засмаги, над якою він працював, відригнула й вибухнула йому в обличчя. А в досліді, на який наважився б лише той, хто не знає хімії, він випадково підірвав контейнер з очищеним калієм, утрамбовуючи його викруткою (невда-а-а-ла ідея!). Офтальмолог ще кілька місяців викопував пластикові осколки в нього з очей.

Навіть після цього катастрофи тривали, хоча, треба сказати на його захист, Девід брався за дедалі складніші проекти, як-от його реактор. Для початку він застосував ті невеликі знання з ядерної фізики, які спромігся зібрати. Ці знання походили не зі школи (він був байдужим, навіть поганим учнем), а з брошур та яскравих проспектів про ядерну енергію, які він виписував, а також із листування з урядовцями, які вірили хитрощам шістнадцятирічного «професора Гана» щодо бажання розробити експерименти для вигаданих студентів.

Серед іншого, Девід дізнався про три основні ядерні процеси — синтез, поділ та радіоактивний розпад. Водневий синтез забезпечує енергією зорі і є найпотужнішим та найефективнішим процесом, але він відіграє незначну роль в ядерній енергетиці на Землі, оскільки ми не можемо легко відтворити температури та тиск, необхідні для запалювання термоядерного синтезу. Натомість Девід покладався на поділ урану та радіоактивність нейтронів, які є побічними продуктами поділу. Більш важкі елементи, як-от уран, мають проблеми з утриманням позитивних протонів у своїх крихітних ядрах, оскільки однакові заряди відштовхуються, тому вони також упаковуються в нейтрони, котрі слугують буферами. Коли важкий

атом поділяється на два легші приблизно однакового розміру, легшим атомам потрібно менше нейтронних буферів, тому вони випльовують надлишок нейтронів. Іноді ці нейтрони поглинають сусідні важкі атоми, які робляться нестійкими й випльовують ще більше нейтронів у ланцюговій реакції. У бомбі ви можете просто дозволити цьому процесу йти. Реактори потребують більшого догляду та контролю, оскільки ви хочете розтягнути поділ на більш тривалий період. Основною інженерною перешкодою, з якою стикнувся Девід, було те, що після поділу атомів урану й вивільнення нейтронів отримані легші атоми стають стабільними і не можуть продовжити ланцюгову реакцію. Як наслідок, звичайні реактори повільно гинуть від нестачі палива.

Розуміючи це — і виходячи непристойно далеко за межі розвитку атомної енергії, що його він спочатку шукав (насправді), Девід вирішив побудувати «реактор-розмножувач», який виробляє власне паливо завдяки розумній комбінації радіоактивних різновидів. Первинним джерелом енергії реактора мали бути гранули урану-233, які легко розщеплюються. (233 означає, що уран має 141 нейтрон плюс 92 протони; зауважте надлишок нейтронів). Але уран буде оточений сорочкою з трохи легшого елемента, торію-232. Після поділу торій поглине нейтрон і стане торієм-233. Нестабільний торій-233 зазнає бета-розпаду, виплуне електрон, і, оскільки в природі заряди завжди балансуються, коли втрачається негативний електрон, торій також перетворить нейтрон на позитивний протон. Це додавання протона зміщує його до наступного елемента в таблиці, протактинію-233. Він також нестабільний, тому випльовує інший електрон і перетворюється на те, із чого ви починали, уран-233. Майже в магічний спосіб ви отримуєте більше палива, просто поєднуючи елементи, які діють радіоактивно в потрібному напрямі.

Девід продовжував цей проект у вільні дні, оскільки після розлучення батьків жив у матері не весь час. Задля безпеки він придбав стоматологічний свинцевий фартух, щоби захистити свої органи, і щоразу після проведення кількох годин у сараї на задньому дворі викидав одяг та взуття. (Пізніше його мама та вітчим зізналися, що помічали, як він викидає гарний одяг, і вважали це дивним. Вони просто гадали, що Девід розумніший за них і знає, що робить.)

З усіх складових, мабуть, найлегшою частиною проекту був пошук торію-232. Сполуки торію мають надзвичайно високі темпера-

тури плавлення, тому вони надзвичайно яскраво світяться внаслідок підігрівання. Вони занадто небезпечні для побутових лампочок, але в промислових умовах, особливо на шахтах, торієві лампи є звичайним явищем. Замість дротяних ниток у торієвих лампах використовують маленькі металеві сіточки, які називаються мантії, і Девід замовляв сотні змінних мантії в оптового продавця, що не викликало жодних запитань. Потім, і це є доказом поліпшення його знань із хімії, він розтоплював мантії в торієвій золі, підтримуючи нагрівання паяльною лампою. Він обробив попіл літєм вартістю 1000 доларів, який отримав, розрізавши батареї дроторізами. Нагрівання реакційноздатного літію та золи над пальником Бунзена очищало торій, надаючи Девіду прекрасну сорочку для активної зони реактора.

На жаль, чи, можливо, на щастя, хай як добре Девід вивчив радіоактивну хімію, фізика від нього вислизнула. Спочатку Девіду був потрібний уран-235, щоб опромінити торій і перетворити його на уран-233. Тож він установив лічильник Гейгера (пристрій, який реєструє радіоактивність частим клацанням) на приладовій панелі свого «понтіака» та подорожував сільським Мічиганом, ніби міг просто так натрапити на гарячу від урану точку в лісі. Але звичайний уран — це переважно уран-238, який є слабким джерелом радіоактивності. (Думка, як збагатити руду, відокремлюючи уран-235 від урану-238, котрі є хімічно ідентичними, насправді була головним досягненням Мангеттенського проекту.) Девід урешті-решт здобув деяку кількість уранової руди в якогось підозрілого поставальника з Чехії, але це знову був звичайний незбагачений уран, а не легкий ізотоп. Зрештою відмовившись від цього підходу, Ган побудував «нейтронну гармату», щоб опромінити торій і в такий спосіб розпалити уран-238, але гармата майже не працювала.

Кілька сенсаційних сюжетів у ЗМІ пізніше натякали на те, що Девіду майже вдалося побудувати реактор у сараї. Насправді він був дуже далеко від мети. Легендарний учений-ядерник Альберт Гіорсо колись підрахував, що Девід починав із занадто малої кількості розщеплюваного матеріалу — щонайменше в мільярд мільярдів разів менше потрібної. Девід, звичайно, збирав небезпечні матеріали і залежно від часу опромінювання — експозиції, як кажуть фахівці, — цілком міг непогано вкоротити собі життя. Але це просто. Існує багато способів отруїтися радіоактивністю. Водночас існує дуже

дуже мало способів приборкати ці елементи, навіть за допомогою належного часу та контролю, щоб отримати від них щось корисне.

Проте поліція не ризикнула, коли розкрила план Девіда. Вони знайшли його пізньої ночі, коли він тикався навколо припаркованого автомобіля, і припустили, що він панк, який краде шини. Затримавши та притиснувши його, вони провели обшук у його «понтіаку», він ще люб'язно, але тупо попередив їх, що там повно радіоактивних матеріалів. Вони також знайшли флакони з дивним порошком і потягнули хлопця на допит. Девід був досить кмітливим, щоби не згадувати про «гаряче» обладнання в сараї, більшість якого він і так уже демонтував, переляканий тим, що робить занадто великий прогрес і може залишити кратер у землі. Поки федеральні відомства сперечалися щодо того, хто відповідає за Девіда — до цього ніхто не намагався незаконно врятувати світ атомною енергетикою, — справа затягнулася на місяці. Тим часом мати Девіда, боячись, що її будинок буде заарештовано, однієї ночі проскочила до лабораторії та вивезла майже все, що там було, на смітник. За кілька місяців по тому офіційні сили в захисному спорядженні нарешті штурмували сарай через подвір'я сусідів з метою обшуку. Навіть тоді залишки банок та інструментів виявляли радіоактивність у тисячу разів вищу, ніж фонові рівні.

Оскільки Девід не мав злих намірів (а 11 вересня ще не трапилося), його таки відпустили. Однак він сперечався з батьками щодо свого майбутнього й після закінчення середньої школи вступив до Військово-морського флоту, мріючи працювати на атомних підводних човнах. Беручи до уваги історію Девіда, флот, мабуть, не мав вибору, але замість дозволити йому працювати на реакторах, його призначили в камбузну команду й довірили мити палуби шваброю. На біду для нього, він так ніколи не отримав можливості займатися наукою в контрольованих обставинах, під належним керівництвом, де його ентузіазм і майбутній талант, мабуть, могли зробити щось добре.

Розв'язка історії радіоактивного бойскаута сумна. Покинувши військову службу, Девід повернувся назад, до свого рідного приміського дому, і без особливих цілей тинявся без справи. За кілька спокійних років, 2007-го, поліція застала його за підробкою (насправді крадіжкою) детекторів диму з будинку, де була його квартира. З боку Девіда, з його історією, це було значним правопору-

шенням, оскільки детектори диму працюють на радіоактивному елементі америції. Америцій — це надійне джерело альфа-частинок, які можна спрямувати в електричний струм усередині детектора. Дим поглинає альфа-частинки, це порушує струм — і спрацьовує пронизливий сигнал тривоги. Але Девід використовував америцій для створення своєї сирової нейтронної гармати, оскільки альфа-частинки збивають нейтрони з певних елементів. Дійсно, його вже колись затримували, коли він був бойскаутом і крав детектори диму в літньому таборі, тож цього разу його заарештували.

2007 року, коли його поліцейське фото просочилося в ЗМІ, хевуїмове обличчя Девіда було пофарбовано червоними виразками, ніби в нього загострення вугревого сипу і він здирав кожен прищ, поки той не починав кровоточити. Але тридцятирічні чоловіки зазвичай не страждають від прищів. Невідворотний висновок полягав у тому, що він прожив свою юність, проводячи багато ядерних експериментів. І знову хімія обдурила Девіда Гана, який так і не зрозумів, що періодична таблиця рясніє обманом. Це було жахливим нагадуванням про те, що, хоча важкі елементи внизу таблиці не є отруйними у звичайному сенсі, як елементи в коридорі отруювачів, проте вони досить підступні, щоби зіпсувати життя.

10

Візьми два елементи, зателефонуй мені вранці

$\begin{array}{c} 29 \\ \text{Cu} \\ 63.546 \end{array}$	$\begin{array}{c} 23 \\ \text{V} \\ 50.941 \end{array}$	$\begin{array}{c} 64 \\ \text{Gd} \\ 157.253 \end{array}$	$\begin{array}{c} 47 \\ \text{Ag} \\ 107.868 \end{array}$	$\begin{array}{c} 16 \\ \text{S} \\ 32.066 \end{array}$	$\begin{array}{c} 45 \\ \text{Rh} \\ 102.905 \end{array}$
--	---	---	---	---	---

Періодична система — річ мінлива й непередбачувана, і більшість елементів куди складніші, ніж відверті негідники з коридору отруювачів. Незрозумілі елементи роблять незрозумілі речі всередині тіла — часто погані, але іноді хороші. Елемент, токсичний в одних обставинах, може стати рятівними ліками в інших, а елементи, які метаболізуються в несподіваний спосіб, можуть забезпечити лікарів у клініках новими діагностичними засобами. Взаємодія елементів та ліків може навіть висвітлити, як саме виникає життя з несвідомого хімічного шлаку періодичної системи.

Репутація кількох елементних ліків сягає в напручуд далеке минуле. Нібито римські офіцери мали більше здоров'я, ніж їхні підлеглі, рядові легіонери, бо їли зі срібних блюд. І хоч як мало твердої валюти мала більшість родин першопрохідців в Америці, вони інвестували принаймні одну срібну монету, яка мандрувала у фургоні через дикі місця, захована в глечичку з молоком — не для збереження багатства, а для збереження молока від псування. Відомий дворянин-астроном Тихо Браге, який 1564 року втратив перенісся в п'яній дуелі на шпагах у слабо освітленому бенкетному залі, як казали, замовив новий срібний ніс. Метал був модним і, що важ-

лівіше, зменшував ризик інфекції. Єдиним недоліком було те, що його очевидно металевий колір змусив Браге носити із собою банки з тональним кремом, який він завжди наносив на свій носовий протез.

Пізніше цікаві археологи розкопали тіло Браге і виявили на передній частині черепа зелену кірку — мабуть, Браге і справді носив ніс, тільки не срібний, а мідний — дешевший і легший*. (Або, можливо, він міняв носи, як сережки, залежно від статусу його компанії.) У будь-якому разі, чи то мідним був ніс, чи то срібним, історія має сенс. Хоча обидва ці елементи довго відкидали як народні засоби, сучасна наука підтверджує, що вони мають антисептичні властивості. Срібло є надто дорогим для повсякденного використання, але мідні канали та труби й зараз є стандартним начинням будівель як заходи громадської безпеки. Кар'єра міді в галузі охорони здоров'я розпочалася одразу після двохсотрічного ювілею Америки, 1976 року, коли в готелі у Філадельфії спалахнула епідемія. Того липня ніколи раніше не бачені бактерії закрадалися у вологі протоки системи кондиціонування повітря, розмножувалися та переносилися прохолодним повітрям крізь вентиляційні отвори. Протягом декількох днів сотні людей у готелі злягли з «грипом», а тридцять чотири померли. Того тижня готель здав свій конференц-центр для групи ветеранів Американського легіону, і, хоча не кожна жертва належала до його членів, зараза стала відома як «хвороба легіонерів».

Закони, запроваджені у відповідь на спалах, формулювали вимоги до систем очищення повітря та води, і мідь виявилася найпростішим та найдешевшим варіантом поліпшення інфраструктури. Якщо певні бактерії, грибки або водорості долають щось, виготовлене з міді, вони поглинають атоми міді, які порушують їхній метаболізм (на клітини людини мідь так не впливає). Мікроби задихаються і гинуть за кілька годин. Цей ефект — олігодинамічний, або ефект «самостерилізації», — робить метали більш стерильними, ніж деревина або пластик, і пояснює, чому ми маємо латунні дверні ручки та металеві перила в громадських місцях. Це також пояснює, чому більшість добре оброблених монет американської держави містять близько 90 % міді або (як центи) мають мідне покриття*. Мідні трубки в повітроводах кондиціонера також очищають неприємні недоречності, які гниють усередині.

Так само смертельним для маленьких вертявих мікробів, проте трохи більш примхливим є ванадій, елемент двадцять три, який також має цікаву побічну дію на чоловіків: ванадій — найкращий із колись розроблених сперміцидів. Більшість сперміцидів розчиняють жирову оболонку, яка оточує сперматозоїди, розливаючи їхні нутроці навколо. На жаль, жирові оболонки мають усі клітини, тому сперміциди часто дратують слизову оболонку вагіни й роблять жінок сприйнятливими до дріжджових інфекцій. Це не смішно. Ванадій уникає будь-якого брудного розчинення та просто руйнує «колінчастий вал» на хвостах сперматозоїдів. Потім хвости відриваються, залишаючи сперматозоїди кружляти, немов човник з одним веслом*.

Ванадій не з'явився на ринку як сперміцид, оскільки — і це трюїзм у медицині — навіть якщо певний елемент або препарат має бажаний ефект у пробірці, це зовсім не означає, що такий ефект вдасться використати та створити безпечні ліки, котрі можуть споживати люди. Попри всю свою ефективність, ванадій усе ще залишається сумнівним елементом щодо метаболізму в організмі. Крім усього іншого, він загадково підвищує та знижує рівень глюкози в крові. Ось чому, попри незначну токсичність, мінеральна вода з багатих ванадієм (як стверджують деякі сайти) джерел гори Фудзі продається в інтернеті як ліки від діабету.

Інші елементи спромоглися перейти до категорії ефективних ліків, як-от нікчемний до того гадоліній, потенційний убивця раку. Цінність гадолінію виникає через велику кількість неспарених електронів. Попри готовність електронів зв'язуватися з іншими атомами, усередині своїх атомів вони залишаються максимально віддаленими один від одного. Пригадайте, що електрони живуть в оболонках, і оболонки далі розділяються на полки — орбіталі, і кожна з них може вмістити два електрони. Цікаво, що електрони заповнюють орбіталі, як пасажирів місця в автобусі: кожен електрон сидить сам один на орбіталі, доки інший електрон не змушений буде підсісти до нього*. Коли електрони вимушені підсідати, то роблять це дуже розбірливо. Вони завжди сідають поруч із кимось, хто має протилежний «спін» — властивість, пов'язану з магнітним полем електрона. Зв'язування електронів, спінів та магнітів може здатися дивним, але всі обертові заряджені частинки мають постійні магнітні поля, як крихітні Землі. Коли електрон приєд-

нується до іншого електрона з протилежним спіном, їхні магнітні поля зникають.

Гадоліній, який перебуває в середині рідкісноземельного ряду, має максимальну кількість електронів, що сидять поодиноці. Наявність такої кількості непарних електронів із власними магнітними полями дозволяє гадолінію намагнічуватися сильніше, ніж будь-який інший елемент,— приємна особливість для магнітно-резонансної томографії (МРТ). Магнітно-резонансні апарати працюють, злегка намагнічуючи тканини тіла потужними магнітами, а потім вимикаючи їх. Коли поле звільняється, тканина розслабляється, випадково переорієнтується і стає невидимою для магнітного поля. Найбільш магнітні елементи, як-от гадоліній, потребують більше часу на розслаблення, і МРТ-апарат уловлює цю різницю. Отже, прикріпивши гадоліній до засобів, що націлюються на пухлини,— хімічних речовин, які шукають пухлини та пов'язуються лише з ними,— лікарі можуть легше виявити новоутворення за допомогою МРТ. Гадоліній переважно покращує контраст між пухлиною та нормальною плоттю, і залежно від апарата перша буде виділятися або як білий острів у морі сіруватої тканини, або як чорнильна хмара на яскраво-білому небі.

Навіть краще, гадоліній може зробити більше, ніж просто діагностувати пухлини. Він також спроможний надати лікарям спосіб знищення цих пухлин інтенсивним опроміненням. Велика кількість непарних електронів дозволяє гадолінію поглинати нейтрони, які нормальна тканина тіла не може добре поглинути. Поглинаючи нейтрони, елемент стає радіоактивним, і коли це стається, він шмагує тканину навколо себе. Зазвичай запускати наноядерну зброю всередині тіла погано, але якщо лікарі можуть спонукати пухлини поглинати гадоліній, це буде своєрідним ворогом нашого ворога. Як бонус, гадоліній також пригнічує білки, які відновлюють ДНК, тому клітини пухлини не можуть відтворити свої пошматовані хромосоми. Як може засвідчити будь-хто, хто колись хворів на рак, сфокусована атака гадолінію стала б значним покращенням порівняно з хіміотерапією та звичайним опромінюванням раку, які вбивають ракові клітини, випалюючи також і все навколо них. Ці методи більше нагадують запалювальні бомби, а гадоліній може колись дозволити онкологам робити хірургічно точні удари без хірургічного втручання*.

Це не означає, що шістдесят четвертий елемент — чудовий препарат. Атоми мають спосіб дрейфувати всередині тіла, і, як будь-який елемент, котрий організм не використовує регулярно, гадоліній має побічні дії. Вони спричиняють проблеми з нирками в деяких пацієнтів, які не можуть вивести його зі свого організму, а інші повідомляють, що це призводить до того, що їхні м'язи стискаються, наче на ранніх стадіях трупного задубіння, а шкіра стає твердою, як підошва, у деяких випадках ускладнюючи дихання. На перший погляд, існує притомна інтернет-індустрія людей, які стверджують, що гадоліній (зазвичай прийнятий для МРТ) зіпсував їхнє здоров'я.

Насправді інтернет є цікавим місцем для розвідки загальних вимог щодо незрозумілих лікарських елементів. Практично стосовно кожного елемента, який не є токсичним металом (а зрідка навіть щодо них), ви можете знайти сайт альтернативної медицини, що продає його як харчову добавку*. Можливо, не випадково, що в інтернеті ви також знайдете фірми, котрі спеціалізуються на пошкодженнях і готові подати до суду на когось за вплив майже кожного елемента. Наразі гуру охорони здоров'я, здається, розповсюджують свої повідомлення далі та ширше, ніж адвокати, й елементні ліки (як-от цинк у льодяниках) продовжують набирати популярності, особливо ті, що мають коріння в народній медицині. Протягом століття люди поступово замінювали народні засоби на ліки, що відпускають за рецептом, але зниження довіри до західної медицини змусило деяких почати самостійно вживати «препарати» на кшталт срібла*.

Знову ж таки, існує нібито наукова основа для використання срібла, оскільки воно має такий самий знезаражувальний ефект, як і мідь. Різниця між сріблом і міддю полягає в тому, що срібло, потрапляючи всередину, забарвлює шкіру в синій колір. Перманентно. І це насправді гірше, ніж звучить. Називати посріблену шкіру «синьою» — це просто певне спрощення. Коли люди це чують, то уявляють веселу та яскраву електричну блакить, але потім вони бачать моторошно-сірих зомбі-смурфів, на яких блакитні люди насправді обертаються.

На щастя, цей стан, який називають аргірія, не смертельний і не завдає внутрішніх пошкоджень. На початку 1900-х один чоловік навіть заробляв на життя як «Синя людина» в шоу фріків після передозування нітрату срібла, яким лікував сифіліс. (Це не спрацюва-

ло.) У наші часи сурвіваліст і запеклий лібертаріанець із Монтани, хоробрий і худий Стен Джонс, балотувався до Сенату США в 2002 і 2006 роках попри свій вражаюче блакитний колір. До його честі, Джонс іронізував із себе так само весело, як і ЗМІ. Коли його запитали, що він говорить дітям і дорослим, які вказують на нього на вулиці, він спокійно відповів: «Я просто кажу їм, що звикаю до свого костюма на Гелловін».

Джонс також із задоволенням пояснив, як отримав аргірію. Наслухавшись під час дистанційних курсів про теорію змови, 1995-го Джонс захопився проблемою 2000 року (катастрофою комп'ютерів) і особливо потенційною відсутністю антибіотиків у майбутньому апокаліпсисі. Він вирішив, що його імунна система мусить краще до цього підготуватися. Тож Джонс почав переганяти на своєму подвір'ї важкий металевий самогон, занурюючи срібні дроти, прикріплені до 9-вольтових батарей, у ванни з водою — метод, який не рекомендують навіть найзавзятіші срібні євангелісти, оскільки сильний електричний струм розчиняє у ванні занадто багато іонів срібла. Джонс чесно пив значку протягом чотирьох з половиною років, аж до того, як «катастрофа» обернулася пшиком у січні 2000 року.

Попри це глупство та здивовані погляди, якими зустрічали його під час двох виборчих кампаній до Сенату, Джонс досі не розкаюється. Звичайно, він не балотувався на посаду, щоби розбудити Управління з продовольства і медикаментів, яке по-лібертаріанськи сумлінно втручається в стихійне лікування елементними засобами лише тоді, коли вони завдають гострої шкоди або не відповідають заявленим обіцянкам. За рік після програшу на виборах 2002 року Джонс сказав національному журналу: «Я винен у тому, що передозував [срібло], але я все ще вважаю, що це найкращий антибіотик у світі... Якби відбулася біологічна атака на Америку або я захворів на будь-який тип хвороби, то негайно прийняв би його знову. Бути живим — це важливіше, ніж якого кольору ти набудеш».

Попри поради Стена Джонса, найкращі сучасні ліки є не окремими елементами, а складними сполуками. Проте в історії сучасних препаратів велику роль зіграли кілька несподіваних елементів. Ця історія здебільшого стосується менш відомих героїчних учених,

як-от Герхард Домагк, але починається вона з Луї Пастера та своєрідного відкриття, яке той зробив стосовно властивості біомолекул, котра називається хіральність і потрапляє в саму суть живої матерії.

Існують шанси на те, що ви правша, але насправді — ні. Ви шульга. Кожна амінокислота в кожному білку вашого організму закручена вліво. Насправді практично кожен білок у будь-якій формі життя, котра колись існувала, є закрученим виключно вліво. Якщо астробіологи колись виявлять мікроб на метеорі або супутнику Юпітера, чи не перше, що вони перевіряють, — це його білки. Якщо вони лівобічні, мікроб, можливо, є земним забрудненням. Якщо вони закручені вправо, це, безумовно, чуже життя.

Пастер помітив цю хіральність, оскільки розпочинав свою кар'єру хіміком, вивчаючи скромні фрагменти життя. 1849 року, коли Луї було двадцять шість років, винзавод попросив його дослідити винну кислоту, нешкідливий відхід виробництва вина. Взаємодіючи, виноградні кісточка та дріжджові фрагменти розкладаються до винної кислоти і збираються у формі кристалів в осадах винних бочок. Породжена дріжджами винна кислота також має цікаву властивість. Розчиніть її у воді та пропустіть крізь розчин вертикальний пучок світла — і промінь буде обертатися за годинниковою стрілкою від вертикалі. У той самий бік обертається набірний диск на старовинному телефоні. Промислова винна кислота, створена людиною, нічого подібного не робить: пропущений промінь виходить справжнім і вертикальним. Пастер хотів зрозуміти, чому таке стається.

Він визначив, що це не має нічого спільного з хімією двох видів винної кислоти. У реакціях вони поводитись однаково, і елементний склад обох був ідентичним. Лише розглядаючи кристали під збільшувальним склом, він помітив якусь різницю. Кристали винної кислоти з дріжджів скручувалися в одному напрямку, як крихітні кулаки лівої руки. У промисловій винній кислоті кристали крутилися в обох напрямках, суміш кулаків лівої та правої рук. Заінтригований Пастер розпочав немислимо нудну роботу, розподіляючи за допомогою пінцета зерна розміром із крупинку солі на лівобічну і правобічну купки. Потім він розчинив кожну купу у воді і випробував на розчинах більше пучків світла. Як і підозрював Пастер, дріжджоподібні кристали обертали світло за годинни-

ковою стрілкою, тоді як дзеркальні кристали обертали його проти годинникової стрілки і на таку саму кількість градусів.

Пастер згадав про подібні результати свого наставника Жана Багіста Біо, який вперше виявив, що деякі сполуки можуть перекручувати світло. Старий вимагав, щоби Пастер показав йому свій дослід — а тоді ледь не розплакався, бо був глибоко зворушений елегантністю експерименту. По суті, Пастер показав, що існують два однакові, але дзеркальні типи винної кислоти. Що ще важливіше, згодом він розширив цю ідею, аби продемонструвати, що життя має сильний ухил до молекул лише однієї руки, або хіральності*.

Пізніше Пастер зізнався, що йому трохи пощастило з цією геніальною роботою. Винну кислоту, на відміну від більшості молекул, легко розгледіти як хіральну. Крім того, хоча ніхто не міг передбачити зв'язок між хіральністю та обертанням світла, Пастер мав за вчителя Біо, який ознайомив його з експериментами щодо оптичного обертання. І вже зовсім випадковою була допомога погоди. Готуючи штучну винну кислоту, Пастер охолодив її на підвіконні. Кислота поділяється на ліво- і правобічні кристали лише за температури нижче 26 °C, і, якби в той сезон було тепліше, він ніколи не виявив би «різнорукість». Проте Пастер знав, що удача пояснює лише частину його успіху. Як він сам заявив: «Удача сприяє лише підготовленому розуму».

Пастер був достатньо кваліфікованим, щоб ця «удача» зберігалася протягом усього життя. Хоча й не перший, він здійснив геніальний експеримент на м'ясному бульйоні в стерильних колбах й остаточно довів, що повітря не містить ані «життєвої сили», ані духу, який може викликати життя з мертвої речовини. Життя будується виключно, навіть якщо й таємниче, з елементів періодичної системи. Пастер також розробив пастеризацію — процес нагрівання молока для знищення інфекційних хвороб; і, що найвідоміше на той час, він урятував життя хлопчиків за допомогою вакцини проти сказу. Останній учинок зробив його національним героєм, і Пастер перетворив цю славу на пробивну силу, щоби відкрити за межами Парижу власний інститут для продовження своєї революційної теорії збудників хвороб.

І зовсім не випадково, що саме в Інституті Пастера в 1930-х кілька мстивих, злопам'ятних учених з'ясували, як працювали перші фармацевтичні препарати лабораторного виробництва, — і в такий

спосіб повісили чергове жорно на шию інтелектуального нащадка Пастера й великого мікробіолога своєї епохи Герхарда Домагк.

На початку грудня 1935 року Хільдегарда, дочка Домагк, спіткнулася на сходах сімейного будинку у Вупперталі, Німеччина, тримаючи в руках швейну голку. Голка увіткнулась їй у руку вушком уперед і зламалася всередині. Лікар витягнув осколок, але за кілька днів Хільдегарда знемогла, страждаючи через високу температуру та агресивну стрептококову інфекцію, яка розповзлася вгору та вниз по руці. Відповідно до того, як їй ставало гірше, сам Домагк також знемогав і страждав, бо смерть була страшним і поширеним наслідком таких інфекцій. Тільки-но бактерії починали розмножуватися, жодні відомі ліки не могли припинити цієї руйнівної дії.

За тим винятком, що був один препарат — або, точніше, один можливий препарат. Насправді це був червоний промисловий барвник, який Домагк потиху тестував у своїй лабораторії. 20 грудня 1932 року він увів виводку мишей десятикратно смертельну дозу стрептококових бактерій. І зробив те саме з іншим виводком. Але за дев'яносто хвилин він зробив другому виводку ін'єкції того промислового барвника, пронтозилу. Напередодні Різдва Домагк, до того дня невідомий хімік, навідався до своєї лабораторії, щоби перевірити результат. Кожна миша в другому виводку була жива. Кожна миша в першому загинула.

Це був не єдиний факт, з яким стикався Домагк, коли пильнував за Хільдегардою. Пронтозил — кільцева органічна молекула, яка трохи незвично містить атом сірки,— мав непередбачувані властивості. Німці на той час, як не дивно, уважали, що барвники вбивають мікроби, забарвлюючи їхні життєво важливі органи в неправильний колір. Але пронтозил, хоч і смертельний для мікробів усередині мишей, не впливав на бактерії в пробірках. Вони радісно плавали собі в червоній ванні. Ніхто не знав, чому таке відбувається, і через це незнання численні європейські лікарі напали на німецьку «хіміотерапію», уважаючи її гіршою за хірургічне лікування інфекції. Навіть Домагк не зовсім вірив у свій засіб. Між експериментом на мишах 1932 року та нещасним випадком із Хільдегардою попередні клінічні випробування на людях проходили добре, але з випадковими серйозними побічними ефектами (не кажучи вже про те, що люди ставали червоними, як раки). Попри те, що він

свідомо ризикував стосовно можливої смерті пацієнтів у клінічних випробуваннях заради загального блага, ризикувати власною дочкою — інша річ.

Домагк опинився перед тією ж дилемою, що й Пастер п'ятдесятьма роками раніше, коли молода мати привела до нього свого сина, настільки травмованого скаженим собакою, що хлопчик ледве міг ходити. Пастер лікував хлопчика вакциною проти сказу, протестованою лише на тваринах, і хлопець вижив*. Пастер не був ліцензованим лікарем і все ж увів вакцину, попри загрозу кримінального переслідування, якби спроба виявилася невдалою. Домагк у разі невдачі мав би додатковий тягар — убивство члена власної сім'ї. Але оскільки Хільдегарді все гіршало, він, найвірогідніше, не міг позбутися спогаду про дві клітки з мишами Святвечора 1932 року: одна була повна рухливих гризунів, а інша — нерухомих. Коли лікар Хільдегарди оголосив, що йому доведеться ампутувати їй руку, Домагк відкинув свою обережність. Порушуючи майже кожен дослідницький протокол, який ви могли би пригадати, він викрав зі своєї лабораторії кілька доз експериментального препарату й почав вводити доньці кроваво-червоний розчин.

Спочатку Хільдегарді погіршало. Її лихоманка то посилювалася, то спадала протягом наступних кількох тижнів. Несподівано, рівно за три роки після експерименту її батька з мишами, стан Хільдегарди стабілізувався. Її чекало життя з обома цілими руками.

Домагк, хоча й перебував в ейфорії, не поспішав сповіщати колег про свій підпільний експеримент, щоби не упереджувати клінічні випробування. Але його колегам не потрібно було чути про Хільдегарду, щоби знати, що Домагк знайшов диво-ліки — найперший справжній антибактеріальний засіб. Важко перебільшити, яким відкриттям був цей препарат. Світ за часів Домагка був багато в чому сучасним. Люди мали швидкі трансконтинентальні перевезення поїздами та швидке міжнародне спілкування телеграфом; а от чого в них не було — це великої надії пережити навіть звичайні інфекції. З пронтозилем пошесті, що знищували людей від початку історії, здавалися такими, які можна перемогти і навіть викоринити. Залишилось лише питання, як працює пронтозил.

Не хочеться переривати розповідь, але вважаю за потрібне надати вам одне пояснення. Після розповіді про користь правила октету мені неприємно казати, що воно має винятки і що пронтозил

досягає успіху як ліки здебільшого тому, що порушує це правило. Зокрема сірка, якщо оточена більш сильними елементами, виділить усі шість своїх електронів зовнішньої оболонки й розширить свій октет до дюжини. У випадку з пронтозилем сірка дає один електрон для зв'язку з бензольним кільцем з атомів вуглецю ще один — із коротким азотним ланцюжком, і по два для зв'язку з двома жадібними атомами кисню. Це шість зв'язків з дванадцятьма електронами — багато з чим треба впоратися. І жоден елемент, крім сірки, не міг цього зробити. Сірка перебуває в третьому ряду періодичної таблиці, тому вона достатньо велика, щоби прийняти більше восьми електронів і об'єднати всі ці важливі частини разом; однак вона розташована лише в третьому ряду і тому занадто мала, щоб усе вмістилося навколо неї в правильному тривимірному розташуванні.

Домагк, насамперед бактеріолог, не знав усієї цієї хімії і врешті-решт вирішив опублікувати свої результати, щоб інші вчені могли допомогти йому зрозуміти, як працює пронтозил. Але існували складні питання бізнесу, які слід було брати до уваги. Хімічний картель *I. G. Farbenindustrie (IGF)*, компанія, яка пізніше виробляла «Циклон В» Фріца Габера), на який працював Домагк, уже продавав пронтозил як барвник, але подав заявку на продовження патенту на пронтозил як ліки одразу після Різдва 1932 року. І маючи клінічні докази того, що препарат добре діє на людей, *IGF* завзято підтримував свої права інтелектуальної власності. Коли Домагк наполягав на публікації своїх результатів, картель змусив його затриматися доти, доки не отримав лікарського патенту на пронтозил, що призвело до критики Домагка та *IGF*, оскільки люди гинули, поки адвокати сварилися. Тоді *IGF* змусив Домагка опублікуватися в маловідомому, виключно німецькому періодичному виданні, щоби не дати іншим фірмам дізнатися про пронтозил.

Попри запобіжні заходи та революційні обіцянки щодо пронтозилу, препарат, потрапивши на ринок, провалився. Іноземні лікарі продовжували просторікувати про нього, і багато хто зовсім не вірив, що пронтозил може спрацювати. Але після того, як препарат урятував життя Франкліну Делано Рузвельту-молодшому (1936 року син президента захворів на тяжку стрептококову ангіну) й отримав гучний заголовок у *The New York Times*, пронтозил і його самотній атом сірки завоювали якусь повагу. Раптом Домагк

перетворився на алхіміка, який може озолотити IGF, і будь-яке незнання того, як працює пронтозил, здавалося дрібницею. Кого це хвилювало, коли 1936 року показники продажу зросли вп'ятеро, а наступного року — стали ще вп'ятеро більше?

Тим часом учені з Інституту Пастера у Франції розкопали статтю Домагк в непомітному журналі. У гніві, який різною мірою складався з ненависті до інтелектуальної власності (бо їх дратувало, коли патенти заважали фундаментальним дослідженням) та анти-тевтонства (бо вони ненавиділи німців), французи негайно взялися за розбір патенту IGF. (Ніколи не недооцінюйте злість як мотиватор для генія!)

Пронтозил діяв на бактерії саме так, як твердила реклама, але вчені Інституту Пастера помітили деякі дивні речі, коли простежували його маршрут в організмі. По-перше, проти бактерій борювався не пронтозил, а його похідне — сульфаніламід, який клітини ссавців продукують шляхом розщеплення пронтозилу навпіл. Це миттєво пояснило, чому бактерії в пробірках не зазнавали впливу препарату: бо там не було жодної клітини ссавців, яка б біологічно «активувала» пронтозил, розщеплюючи його. По-друге, сульфаніламід із центральним атомом сірки та шестиніжкою бічних ланцюгів порушує вироблення фолієвої кислоти — поживної речовини, яку всі клітини використовують для реплікації ДНК та розмноження. Ссавці отримують фолієву кислоту з їжі, а це означає, що сульфаніламід не шкодить їхнім клітинам. Але бактерії повинні виробляти власну фолієву кислоту, інакше вони не зможуть пройти мітоз та розповсюджуватися. По суті, тоді французи довели, що Домагк виявив не вбивцю бактерій, а контролера за народжуваністю бактерій!

Цей аналіз пронтозилу був приголомшливою новиною і вражав не лише з медичного погляду. Важливу частину пронтозилу, сульфаніламід, було винайдено набагато раніше. Він навіть був запатентований 1909 року тією самою I. G. Farbenindustrie*, але мав слабе місце, оскільки компанія випробувала його лише як барвник. До середини 1930-х термін дії патенту закінчився. Учені Інституту Пастера опублікували свої результати з неприхованою радістю, давши всім людям ліцензію на обхід патенту на пронтозил. Домагк та IGF, звичайно, протестували, доводячи, що саме пронтозил, а не сульфаніламід, є вирішальним компонентом. Але коли проти них

було накопичено достатньо доказів, вони відмовилися від своїх вимог. Компанія втратила мільйони інвестицій у виробництво і, можливо, сотні мільйонів прибутку, коли конкуренти поквапилися та синтезували інші «сульфаліки».

Попри професійне розчарування Домагка, рівні до нього за компетенцією фахівці розуміли, що він зробив, і нагородили спадкоємця Пастера Нобелівською премією в галузі медицини та фізіології 1939 року, лише за сім років після різдвяного експерименту з мишами. Але, чесно кажучи, Нобелівська премія погіршила життя Домагка. Гітлер ненавидів Нобелівський комітет за присудження премії миру 1935 року антинацистському журналісту й пацифісту Карлу фон Осецькому і фактично заборонив будь-якому німцю отримувати Нобелівську премію. Тому гестапо заарештувало й жорстоко допікало Домагку за його «злочин». Коли почалася Друга світова війна, Домагк трохи виправив становище, переконавши нацистів (вони спочатку відмовилися вірити), що його ліки можуть урятувати солдатів, які страждають від гангрені. Але до того часу союзники також мали сульфаніламідні препарати, і популярність Домагка не могло підвищити те, що 1942 року його ліки врятували Вінстона Черчилля, людину, яка прагнула знищити Німеччину.

Можливо, ще гірше, що ліки, яким Домагк довірив урятувати життя своєї дочки, стали небезпечною модою. Люди вимагали сульфаніламід за будь-якого болю в горлі та проблемах з носом, і незабаром його сприймали як чудодійний еліксир. Їхні сподівання завершилися неприємним жартом, коли мисливці за швидкими грошима в Сполучених Штатах скористалися цією модою, торгуючи сульфаніламидами, підсолдженими антифризом. Сотні людей померли протягом кількох тижнів — ще один доказ того, що, коли йдеться про панацею, довірливість людей безмежна.

Антибіотики стали кульмінацією відкриттів Пастера щодо мікробів. Але не всі хвороби спричинені мікробами; багато які мають коріння в хімічних або гормональних проблемах. І сучасна медицина почала звертатися до цього другого класу хвороб лише після того, як прийняла інше велике прозріння Пастера щодо біології — хіральність. Пастер, невдовзі після висловлен-

ня думки про удачу та підготовлений розум, сказав дещо інше, не настільки лаконічне, проте таке, що викликає глибше почуття подиву, бо стосується чогось справді загадкового: що робить життя живим. Визначивши, що життя має упереджене ставлення до хіральності на глибокому рівні, Пастер припустив, що вона є єдиною «чітко позначеною лінією розмежування, яку зараз можна провести між хімією мертвої речовини та хімією живої речовини»*. Якщо ви колись замислювались над питанням, що визначає життя, то в хімічному сенсі ці слова могли б бути вашою відповіддю.

Твердження Пастера спрямовувало біохімію майже століття, протягом якого лікарі досягли неймовірного прогресу в розумінні хвороб. Водночас розуміння передбачало, що справжня мета, лікування хвороб, вимагатиме хіральних гормонів та хіральних біохімічних речовин — і вчені усвідомили, що вислів Пастера, хоч яким проникливим і корисним він був, тонко підкреслював їхнє власне незнання. Тобто, указуючи на розрив між «мертвою» хімією, яку вчені могли робити в лабораторії, і живою клітинною хімією, котра підтримувала життя, Пастер одночасно зазначав, що нема простого способу перетнути той розрив.

Проте це не заважало людям намагатися. Деякі вчені отримували хіральні хімічні речовини, переганяючи есенції та гормони тварин, але врешті-решт це виявилось занадто важким. (У 1920-х двом чиказьким хімікам довелося випаровувати кілька тисяч фунтів бичачих яєчок, щоб отримати кілька унцій першого чистого тестостерону.) Іншим можливим підходом було ігнорувати твердження Пастера та виготовляти як право-, так і лівобічні версії біохімікатів. Насправді це було досить легко зробити, оскільки статистично реакції, під час яких виникають такі молекули, з однаковою ймовірністю утворюють право- і лівобічні версії. Проблема такого підходу полягає в тому, що молекули дзеркального зображення мають різні властивості всередині тіла.

Запашний аромат лимонів та апельсинів походить від тих самих основних молекул, однієї правобічної та однієї лівобічної. Неправильні молекули можуть навіть знищити лівобічну біологію. У 1950-х німецька фармацевтична компанія розпочала випуск ліків від ранкової нудоти у вагітних, але доброякісну лікувальну форму активного інгредієнта було змішано з неправильною формою,

оскільки вчені не могли їх розділити. Наступні дивні вроджені вади — особливо народження дітей без ніг чи рук або з кінцівками, наче ласти черепахи,— зробили талідомід найвідомішим лікарським засобом ХХ століття*.

Відповідно до розгортання катастрофи з талідомідом перспективи хіральних препаратів здавалися тьмянішими, ніж будь-коли. Але в той самий час, коли люди публічно оплакували талідомідових немовлят, хімік із Сент-Луїса на ім'я Вільям Ноулз почав бавитись із малоймовірним елементом-героєм, родієм, у приватній дослідницькій лабораторії сільськогосподарської компанії *Monsanto*. Ноулз тихо обійшов Пастера і довів, що «мертва» матерія, якщо розумно з нею поводитися, справді може оздоровити живу матерію.

Ноулз мав пласку двовимірну (2D) молекулу, яку він хотів роздути до тривимірної, оскільки лівобічна версія 3D-молекули показала дуже перспективні результати щодо впливу на захворювання мозку, як-от хвороба Паркінсона. Вузьким місцем було отримання належної хіральності. Зверніть увагу, що 2D-об'єкти не можуть бути хіральними: зрештою, вирізане з картону пласке зображення правої руки можна перегорнути й отримати зображення лівої руки. Хіральність з'являється лише з появою осі *z*. Але вихідні неживі хімічні речовини в реакції не знають, лівобічні чи правобічні молекули робити*. Вони роблять обидві версії, якщо їх не обдурити якимсь трюком.

Трюком Ноулза був родієвий каталізатор. Каталізатори пришвидшують хімічні реакції до ступенів, які важко зрозуміти в нашому убогому, повсякденному людському світі. Деякі каталізатори підвищують швидкість реакції в мільйони, мільярди або навіть трильйони разів. Родій діє досить швидко, і Ноулз виявив, що один атом родію може роздути незліченну кількість двовимірних молекул. Тож він прикріпив родій до центру вже хіральної сполуки, створивши хіральний каталізатор.

Розумна частина полягала в тому, що як хіральний каталізатор з атомом родію, так і цільова 2D-молекула були розтягнутими та громіздкими. Тож коли вони наблизилися одне до одного, щоби зреагувати, то зробили це, як дві ожирілі тварини, які намагаються зайнятися сексом. Тобто хіральна сполука могла засовувати свій атом родію в молекулу 2D лише з однієї позиції. І з цієї позиції, ма-

ючи відповідно спрямовані «руки» та «живіт», 2D-молекула могла розгорнутись у 3D-молекулу лише в одному вимірі.

Ця обмежена маневреність під час коїтусу в поєднанні з каталітичною здатністю родію пришвидшувати реакції означала, що Ноулз міг обійтися виконанням лише невеликої частини важкої роботи — виготовленням хірального родієвого каталізатора — і спокійно пожинати цілі бушелі правильно орієнтованих молекул.

Це був 1968 рік, і з того моменту розпочався сучасний синтез лікарських засобів, а моментом пізніше, 2001 року, Ноулз був удостоєний Нобелівської премії з хімії.

До речі, препарат, який родій виділив для Ноулза, — це лево-дигідроксифенілаланін, або леводопа, сполука, уславлена в книжці Олівера Сакса «Пробудження». У цьому творі зафіксовано, як леводопа викликала пробудження вісімдесяти пацієнтів, які переносили екстремальну хворобу Паркінсона після зараження сонною хворобою (*Encephalitis lethargica*) у 1920-х. Усіх вісімдесятьох було поміщено в лікувальні установи, і багато хто провів чотири десятиліття в неврологічному тумані, а кілька — у безперервній кататонії. Сакс описує їх як «цілком позбавлених енергії, імпульсу, ініціативи, мотиву, апетиту, афекту чи бажання... таких же неістотних, як привиди, і таких же пасивних, як зомбі... згаслі вулкани».

До 1967 року лікар мав великий успіх у лікуванні пацієнтів із хворобою Паркінсона леводопою, попередницею хімічної речовини мозку — дофаміну. (Як і пронтозил Домагга, леводопа має бути біологічно активована в організмі.) Але право- й лівобічна форми молекули були складними для розділення, і ліки коштували понад 10 000 доларів за кілограм. Здивований — і не знаючи, чому це сталося, — Сакс зазначає, що «наприкінці 1968 року вартість леводопи почала різко знижуватися». Звільнений проривом Ноулза, Сакс невдовзі почав лікувати своїх кататонічних хворих у Нью-Йорку, і «навесні 1969 року... в якийсь спосіб, що його ніхто не міг уявити чи передбачити, ці “згаслі вулкани” вибухнули життям».

Метафора з вулканом є точною, оскільки впливи цих ліків не є цілком безпечними. Деякі люди ставали гіперкінетичними, думки в них були хаотичними й випереджали одна одну, а в інших починалися галюцинації або вони гризли різні речі, як тварини. Але

ці забуті люди майже однотайно віддавали перевагу манії леводопи перед своєю колишньою апатичністю. Сакс згадує, що їхні сім'ї та персонал лікарні довгий час уважали їх «фактично мертвими», і навіть деякі хворі самі вважали себе такими. Лише лівобічна версія препарату Ноулза оживила їх. Тож висловлювання Пастера про життєдайні властивості «правильнобічних» хімічних речовин знову виявилось істинним.

11

Як елементи обманюють

N ⁷ 14.007	Ti ²² 47.861	Be ⁴ 9.012	K ¹⁹ 39.098	Na ¹¹ 22.990	I ⁵³ 126.904
----------------------------	------------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------

Ніхто не міг здогадатися, що нікому не відомий сірий метал, як-от родій, може створити щось дивовижне на кшталт леводопи. Але навіть після сотень років розвитку хімії елементи постійно дивують нас сюрпризами, як приємними, так і ні. Елементи можуть заплутати наше несвідоме, автоматичне дихання; збентежити наші свідомі почуття; а деякі, як йод, навіть зраджувати наші найвищі людські здібності. Дійсно, хіміки добре розуміються на багатьох особливостях елементів, як-от їхні точки плавлення або розповсюдженість у земній корі, а чотирикілограмовий «Довідник з хімії та фізики» обсягом 2804 сторінки — Коран хіміків — перелічує всі фізичні властивості кожного елемента з набагато більшим числом десяткових знаків, ніж вам колись знадобиться. На атомному рівні елементи поведуться передбачувано. Але коли вони стикаються з усім хаосом біології, то продовжують нас бентежити. Навіть звичайні, повсякденні елементи, якщо зустрітися з ними в неприродних обставинах, можуть спричинити кілька підлих сюрпризів.

19 березня 1981 року п'ятеро техніків зняли панель імітаційного космічного корабля в штаб-квартирі NASA на мисі Канаверал і увійшли в тісну задню камеру над двигуном. Тридцятитригодинний «день» щойно закінчився ідеально змодельованим підйомом, космічний човник «Колумбія» — найдосконаліший із колись

розроблених — повинен був стартувати з першою місією у квітні, і агентство мало зрозумілу впевненість. Важка частина дня закінчилася, техніки, задоволені та втомлені, зайшли у відсік для звичайної перевірки систем. За кілька секунд, моторошно мирно, вони впали.

До цього моменту NASA не втрачало людей ні на землі, ні в космосі з 1967 року, коли троє астронавтів згоріли під час тренувань до польоту на «Аполлон-1». Тоді NASA, завжди стурбоване скороченням корисного навантаження, дозволяло циркулювати в космічних апаратах лише чистому кисню, а не повітрю, яке містить 78 % азоту (тобто 78 % баласту). На жаль, як визнало NASA в технічному звіті 1966 року: «У чистому кисні [полум'я] буде горіти швидше й гарячіше без розведення атмосферним азотом, який поглинув би частину тепла або перешкодив в інший спосіб».

Тільки-но атоми в молекулах кисню (O_2) поглинають тепло, молекули дисоціюють і створюють пекло, викрадаючи електрони в найближчих атомів, що спричиняє загоряння. Кисень узагалі не потрібно надто провокувати. Деякі інженери переживають, що в чистому кисні навіть статична електрика на липучках костюмів космонавтів може спричинити загоряння. Проте у звіті дійшли висновку, що хоча «інертний газ розглядався як засіб придушення займистості... інертні добавки не тільки не потрібні, але й ускладнюють ситуацію».

Гаразд, цей висновок може бути правильним у космосі, де атмосферний тиск відсутній і навіть невелика кількість внутрішнього газу не дає космічному кораблю зруйнуватися, зім'явшись досередини. Але під час тренувань на Землі, у важкому земному повітрі, технікам NASA довелося накачувати в симулятор набагато більше кисню, щоби стіни не зім'ялися,— і це означало набагато більшу небезпеку, оскільки в чистому кисні навіть невеликі вогники дико спалахують. Коли 1967 року під час тренувань через якусь невідому причину проскочила іскра, вогонь охопив модуль і спалив трьох космонавтів усередині.

Катастрофа у свій спосіб прояснила ситуацію, і після цього NASA вирішило, що у всіх човниках і тренажерах потрібні інертні гази, хай як складно буде цього досягти. До місії «Колумбії» 1981 року вони заповнили кожний відсік, схильний до утворення іскор, інертним азотом (N_2). Електроніка та двигуни працюють в азоті так само добре, і якщо іскри все-таки спалахнуть, азот — котрий зав'язаний

у молекулярній формі щільніше, ніж кисень,— придушить їх. Працівники, які потрапляють в «інертногазовий» відсік, просто мають носити протигази або чекати, поки азот буде викачано і його місце займе придатне для дихання повітря — запобіжний захід, який не було вжито 19 березня. Хтось зарано дав команду, і техніки, не знаючи про це, залізли до камери й граціозно впали на підлогу, неначе в балеті. Азот не тільки заважав їхнім нейронам і клітинам серця поглинати новий кисень; він обкрадав маленькі клітини з киснем, накопиченим на важкі часи, прискорюючи загибель техніків. Рятувальники витягли всіх п'ятьох чоловіків, але врятувати змогли лише трьох. Джон Бьорнстад був мертвий, а Форрест Коул помер у комі 1 квітня, у День дурня.

Будемо справедливими до NASA: за останні кілька десятиліть азот неодноразово душив шахтарів та людей, які працюють у підземних прискорювачах частинок*, і завжди за однакових обставин фільму жахів. Перша людина, яка входила всередину, падала й гинула за кілька секунд без видимих причин. З другою, а інколи й третьою, ставалося те саме. Найстрашніше, що ніхто не бореться перед смертю. Паніка ніколи не починається, попри брак кисню. Це може здатися неймовірним, якщо ви колись потрапляли в пастку під водою. Інстинктивне небажання задихнутися вирве вас на поверхню. Але наші серця, легені та мозок насправді не мають датчиків для виявлення кисню. Ці органи судять лише про дві речі: чи вдихаємо ми газ (будь який газ) і чи видихаємо вуглекислий газ. Вуглекислий газ, або ж двоокис вуглецю, розчиняється в крові з утворенням вугільної кислоти, тож, коли ми позбавляємося CO₂ і зменшуємо вплив кислоти, наш мозок розслабляється. Насправді це така собі милиця, зляпана еволюцією. Було б розумніше контролювати рівень кисню, оскільки саме цього ми прагнемо. Клітинам простіше — і зазвичай цілком достатньо — слідкувати, щоби кількість вугільної кислоти була близька до нуля, тому вони працюють мінімально.

Азот заважає цій системі. Він не має запаху й кольору, не спричиняє накопичення вугільної кислоти в наших судинах. Ми легко вдихаємо й видихаємо повітря, тому наші легені відчувають себе розслабленими, і це не зачепляє жодного ментального дроту. Це «вбиває добротою», прогулюючись системою безпеки тіла, ніби хороший знайомий. (Іронічно, що традиційна назва елементів

у стовпцю азоту, «пнікогени», походить від грецьких «задуха» або «задушення».) Працівники NASA — перші жертви приреченого космічного човника «Колумбія», який розпадеться на шматки над Техасом двадцять два роки по тому, — імовірно, відчували запаморочення та млявість, перебуваючи в азотному серпанку. Але люди так зазвичай почувуються після тридцяти трьох годин роботи, і оскільки вони продовжували чудово видихати вуглекислий газ, мало що могло трапитися в ментальному плані, перш ніж техніки знепритомніли й азот вимкнув їхній мозок.

Оскільки імунна система організму має боротися з мікробами та іншими живими істотами, вона є більш біологічно досконалою, ніж дихальна. Це зовсім не означає, що вона розумніше уникає обману. Однак принаймні тоді, коли деякі хімічні речовини руйнують наш імунітет, періодична система обманює організм заради його власного блага.

1952 року шведський лікар Пер-Інгвар Бренемарк вивчав, як кістковий мозок виробляє нові кров'яні клітини. Маючи міцний шлунок, Бренемарк хотів спостерігати за цим безпосередньо, тому він вирізав отвори в стегнових кістках кроликів і закрити їх титановими «вікнами» завтовшки з ячну шкаралупу, які були прозорими для сильного світла. Спостереження пройшло невдало, і Бренемарк вирішив зняти дорогі титанові екрани для подальших експериментів. На його невдоволення, вони не поворухнулися. Бренемарк відмовився від цих вікон (і бідних кроликів), але коли те саме трапилось у пізніших експериментах — титан завжди фіксувався на кістці, як лещата, — він вивчив ситуацію трохи детальніше. Побачене змусило вважати спостереження за ювенільними кров'яними клітинами набагато менш цікавим і зробило революцію в сонному царстві протезування.

З давніх часів лікарі заміняли відсутні кінцівки незграбними дерев'яними придатками та кілочками. Під час і після промислової революції металеві протези стали звичним явищем, а спотворені солдати після Першої світової війни іноді навіть отримували знімні олов'яні обличчя — маски, що дозволяли їм проходити крізь натовпи, не привертаючи поглядів. Але ніхто не зміг інтегрувати метал або дерево в тіло — а це було б ідеальне рішення. Імунна

система відкидала всі подібні спроби, коли використовувалися золото, цинк, магній або хромований свинячий міхур. Як знавець крові, Бренемарк розумів, чому таке відбувається. Зазвичай загони кров'яних тілець оточують чужорідні речовини й обмотують їх гамівною сорочкою з гладкого волокнистого колагену. Цей механізм — ущільнення шматка й запобігання його витоку — чудово працює, скажімо, із дробом після нещасного випадку на полюванні. Але клітини недостатньо розумні, щоби розрізнити інвазійну чужорідну речовину та корисну чужорідну речовину, і за кілька місяців після імплантації будь-які нові придатки покриваються колагеном і починають повзати або звільнятися.

Оскільки це траплялося навіть з металами, які організм метаболізує (наприклад залізом), і оскільки організм не потребує титану навіть у незначних кількостях, цей елемент здавався малоймовірним кандидатом на прийняття імунною системою. Проте Бренемарк виявив, що з якихось причин титан гіпнотизує клітини крові: він не викликає жодної імунної відповіді й навіть заохочує остеобласти організму (клітини, що утворюють кістки) прикріплюватися до нього, наче нема жодної різниці між двадцять другим елементом і власною кісткою. Титан може повністю інтегруватися в організм, обманюючи той для його ж блага. Починаючи з 1952 року, це стандарт для імплантованих зубів, накручених пальців та змінних суглобів, як-от кульшовий, що отримала моя мати на початку 1990-х.

Через космічних масштабів незезіння артрит у молодому віці зруйнував хрящ у тазостегновому суглобі моєї матері, залишивши кістки стукатися одна об одну, як зазубрений товкачик по ступці. Вона отримала повну заміну кульшового суглобу у віці тридцяти п'яти років, що означало наявність титанового шипа з кулькою на кінці, забитого, як залізнична шпала, між обпиляною стегною кісткою, і гнізда, прикрученого до тазової кістки. Кілька місяців по тому вона вперше за багато років ходила безболісно, і я із задоволенням сказав людям, що їй зробили ту саму операцію, що й великому бейсболісту та футболісту Бо Джексону.

На жаль, частково через небажання моєї матері менше метушитися зі своїми дитячими садочками, її перше стегно відмовило за дев'ять років. Біль і запалення повернулися, тому іншій групі хірургів довелося знову її оперувати. Виявилось, що пластикова вставка всередині штучного суглоба почала розшаровуватися, тож материне

тіло послухно атакувало пластиківі осколки та навколишню тканину, покриваючи їх колагеном. Але титанове гніздо, прикріплене до її тазової кістки, не зазнало пошкоджень, і насправді його довелося відірвати, щоби встановити новий шматок титану. На згадку про те, що вона була наймолодшою дворазовою пацієнткою клініки Мейо із заміщенням кульшового суглоба, хірурги подарували моїй матері те гніздо. Вона досі тримає його вдома в манільському конверті. Гніздо має розмір розрізаного навпіл тенісного м'яча, і навіть сьогодні, за десять років, шматочки білого кісткового коралу непорушно зацементовані на темно-сірій поверхні титану.

Ще більш розвиненим, ніж наша несвідома імунна система, є наше сенсорне обладнання, наші дотик, смак і запах — мости між нашим фізичним тілом та нашим інтегрованим розумом. Але вже зараз має бути очевидно: що складнішою є біологічна система, то більш несподівано вразливих місць вона може мати. І виявляється, що героїчний обман титану — виняток. Ми довіряємо своїм почуттям правдиву інформацію про світ і захист від небезпек, а ось дізнатися, наскільки довірливими насправді є наші органи почуттів, — це прилизливо і трохи лячно.

Рецептори тривоги в ротовій порожнині накажуть вам кинути ложку супу, перш ніж він обпече ваш язик, але, як не дивно, перець чилі в мексиканському соусі сальса містить хімічну речовину капсаїцин, яка також дратує ці рецептори. М'ята перцева охолоджує рот, тому що її метанол захоплює рецептори холоду, змушуючи тремтіти так, ніби щойно стався арктичний вибух. Елементи вчиняють подібні трюки із запахом та смаком. Якщо ви проконтактуєте з найменшим шматочком телуру, то будете тижнями пахнути, як їдкий часник, і люди годинами пізніше знатимуть, що ви були в кімнаті. Ще більш загадковий берилій, четвертий елемент, на смак схожий на цукор. Цукор, який дає швидко енергію, потрібний людям, щоби жити, більше за будь-яку іншу поживну речовину, тож здається, що після тисячоліть полювання на їжу в дикій природі ми маємо досить досконале обладнання для його виявлення. Проте берилій — блідий, тугоплавкий, нерозчинний метал із дрібними атомами, які нічим не нагадують кільцеві молекули цукру, — запалює смакові рецептори так само.

Це маскування могло би бути просто кумедним, якщо забути, що берилій, хоч і солодкий у мінімальних дозах, зі збільшенням кількості дуже швидко стає токсичним*. За деякими оцінками, до однієї десятої людської популяції гіперчутливі до чогось, що називається гострою берилієвою хворобою, еквівалент алергії на арахіс у періодичній системі. У кожного з нас вплив берилієвого порошку може пошкодити легені тим самим хімічним пневмонітом, до якого призводить вдихання мікроскопічного діоксиду кремнію, як це з'ясував один із великих учених усіх часів Енріко Фермі. У молодому віці Фермі використовував порошок берилію в експериментах із радіоактивним ураном. Берилій є чудовим для цих експериментів, оскільки, змішуючись із радіоактивною речовиною, він уповільнює викиди частинок. Замість дозволяти частинкам марно виходити в повітря, берилій відкидає їх назад в уранову решітку, щоби збити більше частинок. У свої пізні роки, переїхавши з Італії до Сполучених Штатів, Фермі настільки сміливо проводив ці реакції, що розпочав першу в історії ланцюгову реакцію на майданчику для гри у сквош Чиказького університету. (На щастя, він був також достатньо спритний, щоб і зупинити реакцію.) Але поки Фермі підкорював ядерну енергетику, простий берилій підкорював його. Ще молодим чоловіком Енріко несвідомо вдихнув занадто багато цієї хімічної «сахарної пудри», тому в п'ятдесят три роки його здолав пневмоніт, і він помер із розідраними легенями, прив'язаний до кисневого балона.

Берилій може частково заколисувати людей, яким слід було б краще розуміти, наскільки хитким є людське почуття смаку. Зараз безумовно надійними є деякі з п'яти типів смакових рецепторів. Смакові рецептори для гіркокого обшарюють їжу, особливо рослинну, у пошуках отруйних хімічних азотних сполук, як-от ціанід у насінні яблук. Смакові рецептори пікантного, або уамі, зосереджуються на глутаматі — G в аббревіатурі MSG (так у європейських країнах позначають глутамат натрію — *monosodium glutamate*). Як амінокислота глутамат допомагає будувати білки, тому ці смакові рецептори попереджають вас про багату на білки їжу. Але смакові рецептори кисло-солодкого легко обдурити. Це може зробити не лише берилій, а й особливий білок у ягодах деяких видів рослин. Вдало названий міракуліном (від англійського слова *miracle*, тобто чудо), він усуває неприємну кислинку в продуктах, не змінюючи обертонів їхнього

смаку, завдяки чому яблучний оцет на смак нагадує яблучний сидр, а перцевий соус табаско — маринару, італійський томатний соус до пасти. Міракулін робить це, приглушуючи смакові рецептори для кислого й одночасно приєднуючись до смакових рецепторів для солодкого, налаштовуючи їх гостро реагувати на іони водню (H^+), які виробляються кислотами. Подібно до цього, люди, які випадково вдихають соляну або сірчану кислоту, потім часто згадують, як боліли зуби, ніби їх насильно годували надзвичайно кислими скибочками лимона. Але, як довів Гілберт Льюїс, кислоти тісно пов'язані з електронами та іншими зарядами. Отже, на молекулярному рівні «кисле» — це просто те, що ми відчуваємо на смак, коли наші смакові рецептори розкриваються і на них набігають іони водню. Наш язик поєднує електрику, тобто потік заряджених частинок, з кислим смаком кислот. Алессандро Вольта, італійський граф, від прізвища якого й утворено термін «вольт», продемонстрував це приблизно 1800 року завдяки розумному експерименту. У Вольти було кілька добровольців, які склали ланцюг, і кожен тримав пальцями язик одному сусіду. Потім двоє людей на кінцях ланцюга клали пальці на виводи батареї. Миттєво по всьому ланцюгу люди відчували, що пальці сусіда кислі.

На смакові рецептори солоного також впливає потік зарядів, але лише зарядів від певних елементів. Натрій викликає відчуття солоного на наших язиках найсильніше, але калій, хімічний кузен натрію, теж має солоний смак. Обидва елементи в природі існують як заряджені іони, і язик виявляє здебільшого саме той заряд, а не натрій чи калій як такі. Ми розвинули цей смак, оскільки іони калію та натрію допомагають нервовим клітинам надсилати сигнали, а м'язам скорочуватися, тож ми буквально загинули б і наші серця зупинилися б без заряду, який постачають ці елементи. Наші язики також сприймають смак інших фізіологічно важливих іонів, як-от магній і кальцій*, як неясно солоний.

Звичайно, смак настільки складний, що солоність не така чиста, як впливає з останнього абзацу. Ми також сприймаємо як солоні фізіологічно непридатні іони, що імітують натрій і калій (наприклад, літій та амоній). І залежно від того, із чим поєднуються натрій і калій, навіть вони можуть відчуватися на смак як солодкі чи кислі. Іноді, як і хлорид калію, ті самі молекули гіркі на смак за низької концентрації, але перетворюються на солоний лизунець,

наче на фабриці Віллі Вонка, за високої концентрації. Калій також може «вимкнути» язик. Якщо жувати сирий гімнемат калію, хімічну речовину з листя рослини *Gymnema sylvestre*, він призведе до концентрації міракуліну, диво-білка, який перетворює кисле на солодке. І дійсно, після жування гімнемата калію, кокаїноподібний кайф язика і серця, що ми зазвичай отримуємо від глюкози, сахарози або фруктози, нібито згасає: дрібка цукру, покладена на язик, буде мати смак звичайного піску*.

Усе це свідчить про те, що смак — це дуже поганий індикатор для дослідження елементів. Дивно, що звичайний калій обманює нас, але, мабуть, надмірна пильність і надмірна винагорода центрів задоволення нашого мозку є хорошими стратегіями для поживних речовин. Щодо берилію, він обманює нас, мабуть, тому, що жодна людина ніколи не стикалася з чистим берилієм, доки один хімік не виділив його в Парижі після Французької революції, тож ми не встигли виробити до нього здоровий несмак. Річ у тім, що принаймні частково ми є продуктами навколишнього середовища, і хоч як добре наш мозок аналізував хімічну інформацію в лабораторії і проводив хімічні експерименти, наші органи чуття зроблять власні висновки і знайдуть часник у телурі та цукрову пудру в берилії.

Смак залишається одним із наших первинних задовольень, і ми повинні дивуватися його складності. Первинний компонент смаку — запах — це єдине відчуття, яке оминає нашу логічну нервову обробку й безпосередньо пов'язується з емоційними центрами мозку. І як поєднання двох почуттів — дотику та запаху — смак занурюється в наші емоційні резервуари глибше, ніж інші наші чуття. Не випадково цілуємось, торкаючись язиками. Проте, коли справа стосується періодичної системи, краще тримати язик за зубами.

Живе тіло таке складне, таке непередбачувано хаотичне, як помехи крил метелика десь у Бразилії, що коли ви вводите випадковий елемент у кров, печінку або підшлункову залозу, майже не можна передбачити, що станеться. Навіть розум і мозок не застраховані.

Найвищі людські здібності — наша логіка, мудрість і судження — також ж вразливі до обману елементів, як-от йод.

Можливо, це не повинно дивувати, оскільки обман вбудовано в хімічну структуру йоду. Зазвичай елементи стають усе важчими

в рядах у напрямку зліва направо, і Дмитро Менделєєв у 1860-х установив, що збільшення атомної маси є рушієм періодичності таблиці, роблячи таке збільшення універсальним законом матерії.

Проблема полягає в тому, що універсальні закони природи не можуть мати винятків, і Менделєєв добре знав про особливо складний виняток у нижньому правому куті таблиці. Щоби телур і йод вишикувалися під подібними їм елементами, телур, п'ятдесят другий елемент, повинен бути ліворуч від йоду, елемента п'ятдесят три. Але телур важчий від йоду і вперто лишається важчим навіть попри те, скільки разів Менделєєв накидався на хіміків, що їхнє зважувальне обладнання, мабуть, обманює їх. Факти — це факти.

Зараз ця перестановка видається нешкідливою хімічною хитрістю, принизливим жартом над Менделєєвим. Сьогодні вченим відомі чотири перестановки в парах серед дев'яносто двох природних елементів — аргон-калій, кобальт-нікель, йод-телур і торій-протактиній,— а також ще декілька серед надважких штучних елементів. Але за століття після Менделєєва йод потрапив у більший і підступніший обман, подібний до вуличного шахрайства з трьома картами. Розумієте, серед понад мільярда людей в Індії до сьогодні зберігається чутка, що Магатма Ганді, той апостол миру, абсолютно ненавидів йод. Ганді, імовірно, також ненавидів уран і плутоній через бомби, які вони зробили можливими, але, за словами сучасних учнів Ганді, котрі хочуть привласнити його могутню легенду, він зарезервував у своєму серці спеціальне місце для ненависті до п'ятдесят третього елемента.

1930 року Ганді очолив індійський народ у знаменитому Соляному поході до Данді на знак протесту проти гнітючого британського податку на сіль. Сіль була одним із небагатьох товарів, які така бідна тодішня Індія могла виробляти самостійно. Люди просто збирали морську воду, давали їй випаровуватись і продавали на вулиці суху сіль із джутових мішків. Оподаткування британським урядом видобутку солі в розмірі 8,2 % було рівносильно жадібності та безглуздості — це наче стягування плати з бедуїнів за черпання піску або з ескімосів за виготовлення льоду. На знак протесту Ганді та сімдесят вісім його послідовників 12 березня вирушили у 240-мильний марш. Вони збирали дедалі більше людей у кожному селі, і до того моменту, коли їхні зрослі ряди прибули 6 квітня до прибережного міста Данді, сформувалася колона завдовжки дві милі. Ганді

зібрав натовп навколо себе для мітингу і в кульмінаційний момент зачерпнув жменю насиченої сольовим розчином грязі й закричав: «Цією сіллю я струсну фундамент [Британської] імперії!» Це було аналогом Бостонського чаювання на Індійському субконтиненті. Ганді закликав усіх виробляти незаконну, неоподатковувану сіль, і до того часу, коли Індія сімнадцять років по тому отримала незалежність, так звана звичайна сіль була справді поширеною в Індії.

Єдиною проблемою було те, що звичайна сіль містить мало йоду — інгредієнта, що має вирішальне значення для здоров'я. На початку 1900-х західні країни з'ясували, що додавання йоду в раціон є найдешевшим та найефективнішим заходом охорони здоров'я, який може вжити уряд для запобігання вродженим вадам розвитку та розумовій відсталості. Починаючи зі Швейцарії в 1922 році, багато країн зробили йодування солі обов'язковим, оскільки сіль є дешевим і простим способом доставки елемента, й індійські лікарі зрозуміли, що завдяки виснаженому на йод ґрунту та катастрофічно високій народжуваності вони також можуть врятувати мільйони дітей від каліцтва й деформацій йодуванням місцевої солі.

Але навіть за десятки років після походу Ганді до Данді виробництво солі було галуззю для людей, а йодована сіль, яку Захід проштовхував до Індії, зберігала подих колоніалізму. Відповідно до того як користь йодованої солі для здоров'я стала зрозумілішою, а Індія модернізувалася, заборона на нейодовану сіль дійсно поширилася серед урядів штатів Індії в період між 1950-ми та 1990-ми, але не без проблем. 1998 року, коли індійський федеральний уряд змусив три штати заборонити звичайну кухонну сіль, здійнялася негативна реакція. Сімейні виробники солі протестували проти додаткових витрат на обробку. Індуїстські націоналісти та послідовники Ганді виступали проти посягань західної науки. Деякі іпохондрики навіть без будь-якої підстави побоювалися, що йодована сіль поширюватиме рак, діабет, туберкульоз і, як не дивно, «дратливість». Ці опоненти були несамовито активними, і буквально за два роки — під нажаханими поглядами ООН та всіх лікарів Індії — прем'єр-міністр скасував федеральну заборону на звичайну сіль. Це технічно зробило звичайну сіль легальною лише в трьох штатах, але такий крок було інтерпретовано як фактичне схвалення. Споживання йодованої солі впало на 13 % по всій країні. Відповідно зросла кількість вроджених вад.

На щастя, скасування тривало лише до 2005 року, коли новий прем'єр-міністр знову заборонив кухонну сіль. Але це навряд чи вирішує проблему йоду в Індії. Образа імені Ганді все ще змушує людей кипіти. Організація Об'єднаних Націй, сподіваючись прищепити любов до йоду поколінням, яке не має такої прив'язки до Ганді, закликала дітей таємно приносити сіль із домашніх кухонь до школи. Там вони та їхні викладачі грають у хімічну лабораторію, перевіряючи дефіцит йоду. Але це була програшна битва. Хоча для виробництва достатньої кількості йодованої солі для своїх громадян Індія витратить лише якийсь цент на людину за рік, витрати на її транспортування високі, і половина країни — понад півмільярда людей — зараз не може регулярно отримувати йодовану сіль. Наслідки є похмурими, навіть без урахування вроджених вад розвитку. Нестача йоду спричиняє зоб, потворний набряк щитоподібної залози. Якщо дефіцит зберігається, ця залоза атрофується. Оскільки вона регулює вироблення та вивільнення гормонів, зокрема гормонів мозку, організм не може безперервно працювати без неї. Люди можуть швидко втратити розумові здібності і навіть регресувати до розумової відсталості.

Англійський філософ Бертран Рассел, інший видатний пацифіст ХХ століття, колись використовував ці лікарські факти про йод, щоби побудувати справу проти існування безсмертних душ. «Енергія, яка використовується в мисленні, схоже, має хімічне походження...— писав він.— Наприклад, дефіцит йоду перетворить розумника на ідіота. Психічні явища, здається, пов'язані з матеріальною структурою». Інакше кажучи, йод змусив Рассела усвідомити, що розум, емоції та спогади залежать від матеріальних умов у мозку. Він не бачив способу відокремити «душу» від тіла і дійшов висновку, що багате психічне життя людей — джерело всієї їхньої слави і значної частини горя — це наскрізь хімія. Ми — періодична система від голови до п'ят.

Hf La Ba
Lu Pa Al
Dy Po Eu Mt
Sm Te

Частина IV

ЕЛЕМЕНТИ ЛЮДСЬКОГО ХАРАКТЕРУ

Ba Ra Zn Li
Au Ru Pd
Pr Mn Hf Rg
Se Po Lu Sr

12

Політичні елементи

$^{96}_{\text{Cm}}$ (247)	$^{84}_{\text{Po}}$ 209	$^{71}_{\text{Lu}}$ 174.967	$^{72}_{\text{Hf}}$ 178.492	$^{91}_{\text{Pa}}$ 231.036	$^{57}_{\text{La}}$ 138.905	$^{109}_{\text{Mt}}$ (276)
------------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------

Людський розум і мозок — найскладніші відомі структури. Вони **Л**обтяжують людей сильними, складними і часто суперечливими бажаннями, і навіть щось настільки суворе й науково чисте, як періодична система елементів, відображає ці бажання. Зрештою, безпомилкові люди побудували періодичну таблицю. Ба більше, таблиця — це місце, де концептуальне зустрічається з буденним, де наші прагнення пізнати Всесвіт, найбагородніші здібності людства, повинні взаємодіяти з матеріальною речовиною, яка складає наш світ,— матеріалами наших пороків і обмежень. Періодична система втілює наші розчарування та невдачі в кожній людській галузі: економіці, психології, мистецтві та — як свідчить спадщина Ганді та перипетії з йодом — політиці. Але окрім наукової, існує й соціальна історія елементів.

Цю історію найкраще простежити в Європі, починаючи з країни, яка була таким же пішаком колоніальних держав, як Індія за часів Ганді. Наче дешевий балаган, Польщу називали «країною на колесах» за всі її виходи та входи на світову сцену. Імперії, що оточували Польщу — Росія, Австро-Угорщина, Німеччина — тривалий час улаштовували воєнні сутички на цьому рівному й незахищеному просторі і по черзі перекроювали політично «Божий майданчик». Якщо випадково обрати карту будь-якого року за по-

передні п'ять століть, то з великою ймовірністю Польща як незалежна держава буде відсутня.

Цілком очевидно, що самостійної Польщі не існувало, коли 1867 року у Варшаві народилася одна з найяскравіших польських особистостей усіх часів Марія Склодовська — саме тоді, коли Менделєєв створював свої великі таблиці. Росія проковтнула Варшаву чотирма роками раніше, після приреченого (як і більшість польських) повстання за незалежність. Царська Росія мала відсталі погляди на освіту жінок, тому батько дівчинки навчав її сам. У підлітковому віці Марія виявляла здібності до науки, але також долучилася до радикальних політичних груп й агітувала за незалежність. Після занадто частих демонстрацій проти російської влади Склодовська зрозуміла, що їй доцільно переїхати до іншого великого культурного центру Польщі, Кракова (який на той час, *вдихніть*, був австрійським). Навіть там вона не могла здобути наукової підготовки, якої жадала. Нарешті вона переїхала до Сорбонни в далекому Парижі. Вона планувала повернутися на батьківщину після того, як здобуде ступінь доктора філософії, але, полюбивши П'єра Кюрі, залишилась у Франції.

У 1890-х Марія та П'єр Кюрі розпочали, мабуть, найпліднішу співпрацю в історії науки. Тоді радіоактивність була блискучим новим полем для вивчення, і робота Марії з ураном, найважчим природним елементом, швидко дала важливе розуміння: його хімія є окремою від його фізики. Кожний атом чистого урану випромінював стільки ж радіоактивних променів, скільки й уран у мінералах, тому що електронні зв'язки між атомом урану та атомами його оточення (хімія) не впливали на те, як і коли його ядро стає радіоактивним (фізика). Ученим більше не потрібно було досліджувати мільйони хімічних речовин і нудно вимірювати радіоактивність кожної з них (як, наприклад, вони мають робити, щоби з'ясувати точки плавлення). Їм необхідно було вивчити лише дев'яносто з чимсь елементів періодичної системи. Це значно спростило ситуацію, бо, прибравши відволікальну павутину, можна було побачити дерев'яну балку, що тримала на собі всю струнку систему. За це відкриття Марія та П'єр Кюрі розділили Нобелівську премію з фізики 1903 року.

У той час Марію задовольняло життя в Парижі, і 1897 року в неї народилася дочка Ірен. Але Марія ніколи не припиняла вважати

себе полькою. Дійсно, Кюрі була раннім прикладом виду, популяція якого вибухово зросла протягом ХХ століття,— ученого-біженця. Як і будь-яка людська діяльність, наука завжди була наповнена політикою — нестабільністю, ревностями та дрібними тактичними хитрощами. Будь-яке дослідження впливу політики на науку містить багато прикладів такої поведінки. Але ХХ століття наводить найкрасномовніші (тобто найжахливіші) історичні приклади того, як розвал імперій може спотворити науку. Політика зіпсувала кар'єру, мабуть, двох найславетніших за всю історію жінок-учених, і навіть суто наукові зусилля щодо переробки періодичної системи відкрили розколину між хіміками та фізиками. Передусім політика довела дурість учених, які ховали голови в лабораторних дослідах і сподівалися, що навколишній світ вирішить свої проблеми так само акуратно, як вони розв'язують свої рівняння.

Невдовзі після отримання Нобелівської премії Марія Кюрі зробила ще одне фундаментальне відкриття. Проводячи експерименти з очищення урану, вона з цікавістю зауважила, що залишки «відходів», які вона зазвичай викидала, мали в триста разів більшу радіоактивність, ніж уран. Сподіваючись, що відходи містять невідомий елемент, вони з чоловіком орендували сарай, який колись використовували для розтину трупів, і почали кип'ятити в казані тисячі фунтів уранової смолки, тобто уранової руди, розмішуючи її «залізним стрижнем, майже таким великим, як я»,— писала Марія, і все це лише для того, щоб отримати достатньо грамів залишку для належного вивчення. На це пішли роки гнітюче нудної й виснажливої праці, але робота завершилася двома новими елементами — і була нагороджена, оскільки вони були елементами, набагато більш радіоактивними, ніж будь-що відоме раніше, ще однією Нобелівською премією, цього разу з хімії 1911 року.

Може здатися дивним, що та сама основна робота була визнана в різних призових категоріях, але тоді різниця між галузями в атомній науці була не такою чіткою, як сьогодні. Багато перших лауреатів як із хімії, так і з фізики отримували премію за роботи, пов'язані з періодичною системою, оскільки вчені все ще сортували таблицю. (Тільки до того часу, коли Гленн Сіборг та його команда створили елемент дев'яносто шість і назвали його кюрієм на честь Марії, робота вважалася суто хімічною.) Проте ніхто, крім Марії Кюрі, не вийшов з тієї ранньої ери, маючи більше одного Нобеля.

Як першовідкривачі нових елементів подружжя Кюрі отримало право їх назвати. Щоби скористатися сенсацією, яку викликали ці дивні радіоактивні метали (зокрема й тому, що одним із відкривачів була жінка), Марія назвала перший елемент, який вони виділили, — полоній (від латинської назви Польщі — Полонія) на честь своєї відсутньої на карті світу батьківщини. Раніше жоден елемент не було названо з політичної причини, і Марія припускала, що її сміливий вибір приверне увагу в усьому світі й активізує боротьбу поляків за незалежність. Не зовсім. Громадськість кліпала очима й позіхала, а потім жадібно накинулася на пікантні подробиці особистого життя Марії.

Перша — трагічна; 1906 року карета переїхала і вбила П'єра* (саме тому він не поділив з Марією другу Нобелівську премію — на неї можуть претендувати лише живі люди). За кілька років у країні, яка все ще кипіла через справу Дрейфуса (коли французька армія сфабрикувала докази шпигунства проти офіцера-єврея на ім'я Дрейфус і засудила його за державну зраду), престижна Французька академія наук відмовилася зробити Марію своїм членом через те, що вона жінка (що було правдою) і, як підозрювалося, єврейка (що правдою не було). Незабаром вона та Поль Ланжевен, її науковий колега — і, як виявилось, коханець — разом відвідали конференцію в Брюсселі. Ображена їхніми розвагами, місіс Ланжевен надіслала любовні листи Поля та Марії до огидної газети, яка опублікувала всі соковиті фрагменти. Принижений Ланжевен навіть стрілявся на дуелі, щоб урятувати честь Марії, але ніхто не постраждав. Єдине травмування виникло після того, як мадам Ланжевен нокаутувала Поля стільцем.

Скандал із Ланжевеном розгорівся 1911 року, і Шведська академія наук обговорювала, чи не скасувати номінацію Кюрі на її другу Нобелівську премію, побоюючись політичних наслідків. Академія вирішила, що не може цього зробити, зберігши чистою наукову совість, але попросила Марію не відвідувати церемонії на її честь. Вона все одно зухвало з'явилася. (Марія мала звичку відверто нехтувати умовностями. Одного разу, відвідуючи будинок видатного чоловіка-вченого, вона пішла з ним та його колегою в темний прикомірок, щоби продемонструвати флакон із радіоактивним металом, що світився в темряві. Поки їхні очі підлаштовувались, їх перебив короткий стук. Дружина одного з чоловіків знала про

репутацію Кюрі як фатальної жінки і вважала, що вони там надмірно затрималися.)

Марія знайшла легкий перепочинок від свого бурхливого особистого життя*, коли катаклізм Першої світової війни та розпад європейських імперій воскресили Польщу, яка отримала перший смак незалежності за кілька століть. Але найменування її першого елемента на честь Польщі ніяк не сприяло цим зусиллям. Фактично це виявилось необачним рішенням. Як метал полоній ні до чого не придатний. Він розкладається настільки швидко, що, можливо, це була насмішлива аналогія із самою Польщею. І оскільки латина пішла в минуле, така назва нагадує не про Полонію, а про Полонія, недорікуватого та дурнуватого персонажа з «Гамлета». Що ще гірше, другий елемент, радій, який світиться напівпрозорим зеленим кольором, незабаром з'явився в споживчих товарах у всьому світі. Люди навіть пили насичену радієм воду з облицьованого радієм посуду, котрий називали ревігатор, як тонізуючий засіб для здоров'я. (Компанія-конкурент *Raditor* продавала окремі пляшки з попередньо просоченою радієм та торієм водою*.) Загалом радій затьмарив свого брата й викликав саме той фурор, який Кюрі сподівалися отримати від полонію.

Ба більше, полоній пов'язували з раком легенів від сигарет, оскільки рослини тютюну надмірно добре поглинають полоній і концентрують його у своєму листі. Після спалення та вдихання радіоактивний дим впливає на легеневу тканину. З усіх країн світу лише Росія, багаторазовий завойовник Польщі, більше не заважає виробляти полоній. Ось чому, коли колишній шпигун КДБ Олександр Литвиненко з'їв суші із полонієм, а потім з'явився у відео, маючи вигляд хворого на лейкемію підлітка, що втратив усе волосся й навіть брови, головними підозрюваними стали його колишні роботодавці з Кремля.

Історично склалося так, що лише один випадок гострого отруєння полонієм наблизився до драми Литвиненко — випадок з Ірен Жоліо-Кюрі, стрункою жінкою із сумними очима, дочкою Марії. Блискуча вчена Ірен та її чоловік Фредерік Жоліо-Кюрі взяли за роботу Марії й незабаром перевищили її. Замість просто знаходити радіоактивні елементи, Ірен вигадала метод перетворення атомів приручених елементів на штучно радіоактивні, бомбардуючи їх субатомними частинками. Ця робота призвела до її власної Нобе-

лівської премії 1935 року. На жаль, Ірен Жоліо-Кюрі обрала своїм бомбардувальником атомів полоній. І одного дня 1946 року, незадовго після того, як Польшу визволили від нацистської Німеччини, щоби зробити маріонеткою Радянського Союзу, в її лабораторії вибухнула капсула полонію і вона вдихнула улюблений елемент Марії. Хоча Ірен Жоліо-Кюрі не зазнала публічного приниження Литвиненка, вона померла від лейкемії 1956 року, як і її мати за двадцять два роки до цього.

Безпорадна смерть Ірен Жоліо-Кюрі виявилася подвійно іронічною, оскільки дешеві штучні радіоактивні речовини, які вона зробила можливими, відтоді стали вирішальними медичними засобами. Коли їх ковтають у невеликих кількостях, ці радіоактивні «індикатори» освітлюють органи та м'які тканини настільки ж ефективно, як роблять це з кістками рентгенівські промені. Практично кожна лікарня світу використовує мічені атоми, і ціла галузь медицини, рентгенологія, присвячена виключно цьому напрямку. Тому дуже дивно дізнатися, що мічені атоми виникли як трюк аспіранта — друга Жоліо-Кюрі, який бажав помститися своїй квартирній хазяйці.

1910 року, незадовго до того як Марія Кюрі отримала свою другу Нобелівську премію за радіоактивність, молодий Дьєрдь Гевеші прибув до Англії, щоби вивчати радіоактивність. Директор його лабораторії в Манчестерському університеті, Ернест Резерфорд, негайно доручив Гевеші геркулесівське завдання — відокремити радіоактивні атоми від нерадіоактивних усередині блоків свинцю. Власне, це завдання виявилось не геркулесівським, а просто неможливим. Резерфорд припускав, що радіоактивні атоми, відомі як радій-D, є унікальною речовиною. Насправді радій-D був радіоактивним свинцем, і тому його не можна було відокремити хімічно. Не знаючи про це, Гевеші змарнував два роки, нудно намагаючись виманити свинець та радій-D поодинці, перш ніж здався.

Гевеші — лисий, з пониклими щоками, вусатий аристократ з Угорщини — стикався ще й із побутовими розчаруваннями. Гевеші був далеко від дому, але він звик їсти смачні угорські страви, а не англійську їжу у своєму пансіоні. Помітивши закономірності в харчах, що там подавали, Гевеші почав підозрювати, що, подібно

до їдальні в середній школі, яка переробляє недоїдені в понеділок гамбургери на яловичий чилі в четвер, «свіже» щоденне м'ясо, що готувала хазяйка, могло бути чим завгодно. Коли він прямо про це запитав, вона все заперечила, тому Гевеші вирішив пошукати докази.

На диво, приблизно в той самий час він досяг прориву в лабораторії. Хоча йому не вдавалося відокремити радій-D, Гевеші зрозумів, що може використати це на свою користь. Він почав роздумувати над можливістю впорскувати в живу істоту невеликі кількості розчиненого свинцю, а потім відстежувати шлях елемента, оскільки істота однаково метаболізує радіоактивний і нерадіоактивний свинець, а радій-D випромінює сигнали радіоактивності під час руху. Якби це спрацювало, Гевеші міг би насправді відстежувати молекули у венах та органах — безпрецедентний ступінь роздільної здатності!

Перш ніж спробувати це на живій істоті, учений вирішив перевірити свою ідею на неживій органічній тканині — такий собі тест із прихованим мотивом. Якось він узяв надто багато м'яса за вечерею, а коли хазяйка повернулася спиною, скропив його «гарячим» свинцем. Вона, як зазвичай, збрала залишки, а наступного дня Гевеші приніс додому новомодний детектор випромінювання від свого приятеля з лабораторії Ганса Гейгера. Звичайно, коли ввечері він провів приладом над поданим на вечерю гуляшем, лічильник Гейгера неначе збісився: клац-клац-клац-клац. Гевеші ткнув хазяйку пансіону носом у ці незаперечні докази. Романтик від науки, він, без сумніву, розписав усе найяскравішими фарбами, пояснюючи таємниці радіоактивності. Насправді хазяйка була так зачарована тим, наскільки спритно її спіймали за допомогою новітніх інструментів криміналістики, що навіть не розсердилася. Однак історія не зберегла даних про те, чи змінила вона своє меню.

Незабаром після відкриття елементів-індикаторів кар'єра Гевеші розцвіла, і він продовжував працювати над проектами, що поєднували хімію та фізику. Проте ці два поля явно розходились, і більшість учених обирала ту чи іншу сторону. Хіміки залишалися зацікавленими у зв'язуванні цілих атомів один з одним. Фізики були захоплені окремими частинами атомів і новою галуззю, яка називається «квантова механіка», химерним, але прекрасним способом говорити про матерію. Гевеші залишив Англію 1920 року, щоби

навчатися в Копенгагені в Нільса Бора, великого квантового фізика. І саме в Копенгагені Бор і Гевеші мимоволі перетворили щілину між хімією та фізикою в справжній політичний розкол.

1922 року комірка для сімдесят другого елемента періодичної таблиці лишалася порожньою. Хіміки з'ясували, що всі елементи від п'ятдесят сьомого (лантан) до сімдесят першого (лютецій) мають рідкісноземельну ДНК. Елемент сімдесят два був неоднозначним. Ніхто не знав, чи закріплювати його в кінці ланцюжка важко відокремлюваних один від одного рідкісноземельних металів — у цьому разі мисливці за елементами мали просіяти зразки нещодавно виявленого лютецію — або ж тимчасово класифікувати його як перехідний метал, що заслуговує на свій стовпець.

За переказами, Нільс Бор, сам-один у своєму кабінеті, створив майже евклідів доказ того, що сімдесят другий елемент не є рідкісноземельним, як лютецій. Пам'ятайте, що роль електронів у хімії була недостатньо відома, і, як вважається, Бор базував свій доказ на дивній математиці квантової механіки, котра каже, що елементи можуть приховувати у своїх внутрішніх оболонках лише певну кількість електронів. Лютецій та його *f*-оболонки мали електрони, заховані в кожну місцину та щілину, і Бор міркував, що наступному елементу нічого не залишається, як почати виставляти електрони на показ і діяти як порядний перехідний метал. Тому Бор відрядив Гевеші та фізика Дірка Костера детально вивчати зразки цирконію — елемента над тією коміркою в таблиці, яку мав зайняти невідомий сімдесят другий, імовірний хімічний аналог цирконію. Сталося, мабуть, рекордне за мінімальною кількістю пролитого поту відкриття в історії періодичної системи: Гевеші та Костер знайшли сімдесят другий елемент з першої спроби. Вони назвали його гафній, від *Hafnia*, латинської назви Копенгагена.

Квантова механіка на той час підкорила багатьох фізиків, але хімікам вона здавалася потворною й неінтуїтивною. Це було ніби занудством та прагматизмом: видавалося, що цей кумедний спосіб підрахунку електронів мало пов'язаний зі справжньою хімією. Однак прогнози Бора щодо гафнію, які він зробив, навіть не зайшовши до лабораторії, змусили хіміків змиритися. Так сталося, що Гевеші й Костер зробили своє відкриття безпосередньо перед тим, як Бор отримав Нобелівську премію з фізики 1922 року. Вони надіслали йому телеграму до Стокгольма, і Бор оголосив про їхнє відкриття

у своїй промові. Це зробило квантову механіку схожою на еволюційну науку, оскільки вона заглибилася в атомну структуру глибше, ніж могла б хімія. Почалася шепітна кампанія, і, як це раніше було з Менделєєвим, незабаром колеги наділили Бора — уже схильного до наукової містики — якостями оракула.

Насправді це легенда. Правда трохи інша. Щонайменше трое вчених, що передували Бору (зокрема хімік, який безпосередньо впливав на Бора), ще 1895 року писали статті, котрі пов'язували сімдесят другий елемент із перехідними металами, як-от цирконій. Ці люди були не геніями, які випереджали свій час, а хімікампішоходами, котрі мало що знали про квантову фізику і знати не бажали. Здається, розміщуючи гафній, Бор виклав їхні аргументи і, вірогідно, використовував свої квантові розрахунки, щоб обґрунтувати менш романтичний, але все ще життєздатний хімічний аргумент щодо місця цього елемента в таблиці*.

Проте, як і в більшості легенд, важлива не правда, а наслідки — те, як люди реагують на історію. І оскільки навколо міфу було багато чуток, люди явно хотіли повірити, що Бор знайшов гафній лише за допомогою квантової механіки. Фізика завжди працювала, розділяючи об'єкти природи на дрібніші шматки, і для багатьох учених Бор зводив запилену хімію до специфічної та раптово химерної галузі фізики. Філософи науки також накинулися на цю історію, проголосивши, що хімія Менделєєва мертва, а цариною керує фізика Бора. Те, що починалось як науковий диспут, стало політичною суперечкою про територію та кордони. Така наука, таке життя.

Легенда також пробудила лева в чоловікові, що опинився в центрі цієї скандальної сенсації, Дьєрді Гевеші. До 1924 року колеги вже номінували Гевеші на Нобелівську премію за відкриття гафнію, але існувала суперечка щодо пріоритету з французьким хіміком та художником-дилетантом. Жорж Урбан — який колись намагався, але не зумів збентежити Генрі Мозлі своїм зразком рідкісноземельних елементів — відкрив лютецій 1907 року. Значно пізніше він стверджував, що знайшов гафній — рідкісноземельний присмак гафнію, — змішаний з його зразками. Більшість учених не вважали роботу Урбана переконливою, і, на жаль, 1924 року Європа все ще була розділена нещодавніми неприємностями, тому та суперечка за пріоритет набула націоналістичного відтінку. (Французи вважали Бора та Гевеші німцями, хоча вони були, відповідно, данцем та

угорцем. Один французький журнал винюхав, що все це «смердить гунами», наче цей елемент виявив сам Аттіла.) Хіміки також не довіряли Гевеші через «подвійне громадянство» в хімії та фізиці, і це, поряд із політичними суперечками, завадило Нобелівському комітету вручити угорцю премію. Натомість комітет залишив премію 1924 року непризначеною.

Засмучений, але непохитний, Гевеші виїхав з Копенгагена до Німеччини й продовжив свої важливі експерименти з хімічними індикаторами. У вільний час він навіть допоміг визначити, наскільки швидко людський організм переробляє середню молекулу води (дев'ять днів), добровільно випивши особливу важку воду*, у якій деякі атоми водню мали додатковий нейтрон, а потім щодня зважуючи свою сечу. (Як і у випадку з м'ясом у пансіоні, він не любив офіційних протоколів досліджень.) Протягом усього цього часу хіміки, як-от Ірен Жоліо-Кюрі, неодноразово й марно номінували його на Нобелівську премію. Щорічно не винагороджений, Гевеші дещо зневірився. Але, на відміну від Гілберта Льюїса, очевидна несправедливість викликала симпатію до Гевеші, а відсутність премії в дивний спосіб зміцнила його статус у міжнародному співтоваристві.

Проте Гевеші, з його єврейським походженням, незабаром стикнувся із серйознішими проблемами, ніж відсутність Нобелівської премії. У 1930-х він залишив нацистську Німеччину і знову виїхав до Копенгагена, пробувши там до серпня 1940 року, коли нацистські штурмовики постукали у вхідні двері інституту Бора. І коли настав час, Гевеші виявився мужнім. Двоє німців, один — єврей, а другий — прихильник та захисник євреїв, у 1930-х надіслали на зберігання Бору свої золоті Нобелівської медалі, оскільки в Німеччині нацисти, імовірно, відібрали б їх. Однак Гітлер визначив експорт золота державним злочином, тому виявлення медалей у Данії могло призвести до численних страт. Гевеші запропонував зарити медалі в землю, але Бор уважав, що це занадто очевидно. Тож, як пізніше згадував Гевеші, «поки загони загарбників ішли вулицями Копенгагена, я був зайнятий розчиненням медалей [Макса фон] Лауе та Джеймса Франка». Для цього він використав акварегію — їдку суміш азотної та соляної кислот, що зачарувала алхіміків, оскільки розчиняла «королівські метали», як-от золото, хоча (як пригадував Гевеші) не так уже й легко. Коли нацисти розграбували інститут

Бора, вони обшукали будівлю, не знаходячи поживи чи доказів порушень, але залишили недоторканою колбу помаранчевої акварегії. Гевеші був змушений утекти до Стокгольма 1943 року, а повернувшись до своєї пошкодженої лабораторії після завершення війни, виявив безвинну колбу не потурбованою на тій самій полиці. Він виділив золото, а Шведська академія згодом знову виплавила медалі для Франка та Лауе. Єдиною скаргою Гевеші на важкі випробування під час війни був утрачений день лабораторної роботи, який він пропустив, тікаючи з Копенгагена.

Серед цих пригод Гевеші продовжував співпрацювати з колегами, зокрема Ірен Жоліо-Кюрі. Насправді Гевеші був несвідомим свідком величезної помилки Ірен, яка завадила їй зробити одне з найбільших наукових відкриттів ХХ століття. Ця честь випала іншій жінці, австрійській єврейці, що, як і Гевеші, утекла від нацистських переслідувань. На жаль, зіткнення Лізи Майтнер з політикою — як світовою, так і науковою — закінчилися помітно гірше, ніж у Гевеші.

Ліза Майтнер та її трохи молодший співробітник Отто Ган почали спільно працювати в Німеччині безпосередньо перед відкриттям дев'яносто першого елемента. Його відкривач, польський хімік Казімеж Фаянс, виявив 1913 року лише короткочасні атоми елемента, тому назвав його «бrevій» (короткочасний). Як зрозуміли 1917 року Майтнер і Ган, більшість його атомів насправді живуть сотні тисяч років, що зробило назву «бrevій» трохи дурною. Вони перехрестили його на протактиній, тобто «батько актинію», елемента, на який він (з часом) розпадався.

Без сумніву, Фаянс протестував проти відмови від «бrevію». Попри те, що у вищому суспільстві захоплювалися його витонченістю, сучасники казали, що у професійних питаннях цей поляк проявляв і забіякуватість, і нетактовність. Дійсно, існує міф, що Нобелівський комітет проголосував за присудження Фаянсу вакантної премії з хімії 1924 року (тієї, яку, імовірно, не отримав Гевеші) за роботи з радіоактивності, але скасував своє рішення, караючи в такий спосіб за гоноровитість, коли світлина Фаянса та стаття з назвою «К. Фаянс отримає Нобелівську премію» з'явилася у шведській газеті до офіційного оголошення. Фаянс завжди стверджував,

що впливовий і недружньо налаштований член комітету заблокував його кандидатуру з особистих причин*. (Офіційно Шведська академія заявила, що залишила премію цього року не призначеною й зберегла призові гроші, щоби підкріпити свій фонд, який, поскаржилася академія, був порізаний високими шведськими податками. Але вона випустила це виправдання лише після публічного галасливого протесту. Спочатку вона просто оголосила, що не буде премій у багатьох категоріях, і звинуватила в цьому «відсутність кваліфікованих кандидатів». Ми, мабуть, ніколи не дізнаємося, що там було насправді, оскільки академія твердить, що «така інформація вважається секретною на всі часи».)

Незалежно від того, «бревій» програв, а «протактиній» закріпився*, і про Майтнер та Гана час від часу кажуть, що вони розділили відкриття дев'ятого першого елемента. Однак є ще одна, більш цікава історія, яку слід розповісти і яка призвела до нової назви. Наукова стаття, що оголосила про довговічний протактиній, видала перші ознаки незвичайної відданості Лізи Майтнер Гану. У цьому не було нічого сексуального — Майтнер ніколи не виходила заміж, і ніхто ніколи не знайшов доказів, що в неї був коханець,— але принаймні в професійному плані вона була вражена Ганом. Це можливо, оскільки Ган визнав її справжню ціну й вирішив працювати разом із нею в колишній столярній майстерні, коли німецькі чиновники відмовилися дати Майтнер — жінці! — справжню лабораторію. Ізольовані в майстерні, вони встановили приємні стосунки, коли він виконував хімічні досліди, визначаючи, які елементи присутні в радіоактивних зразках, а вона зосередилася на фізиці, з'ясовуючи, як саме Ган робив свої відкриття. Однак незвично, що Майтнер виконувала всю роботу для остаточних, опублікованих експериментів із протактинієм, оскільки Гана було відряджено на розробку газової зброї Німеччини під час Першої світової війни. Проте вона забезпечила, щоби він отримав почесні. (Запам'ятайте цей благородний жест!)

Після війни Майтнер і Ган відновили своє партнерство, і хоча десятиліття між війнами були захопливими для Німеччини з наукового погляду, водночас вони виявилися страшними в політичному плані. Ган — з міцною щелепою, вусами, хорошими німецькими предками — не мав чого боятися перед нацистським переворотом 1932 року. Однак, до його честі, коли Гітлер 1933 року вигнав із краї-

ни всіх єврейських учених — спричинивши першу велику хвилю вчених-біженців, — Ган на знак протесту подав у відставку з посади професора (хоча продовжував відвідувати семінари). Майтнер, хоч і вихована порядною австрійською протестанткою, мала єврейських бабусь і дідусів. Що характерно, можливо тому, що Майтнер нарешті отримала власну справжню науково-дослідну лабораторію, вона недооцінила небезпеку й поринула в іскрометні нові відкриття в ядерній фізиці.

Найбільше з цих відкриттів сталося 1934 року, коли Енріко Фермі оголосив, що, бомбардуючи атоми урану атомними частинками, він створив перші трансуранові елементи. Це було неправдою, але людей приголомшила думка, що періодична таблиця більше не обмежена дев'яносто двома елементами. Феєрверк нових ідей щодо ядерної фізики зайняв учених у всьому світі.

Того ж року інший лідер у цій галузі, Ірен Жоліо-Кюрі, виконала своє власне бомбардування. Після ретельного хімічного аналізу вона оголосила, що нові трансуранові елементи мають дивовижну схожість із лантаном, першим рідкісноземельним елементом. Це теж було несподівано — настільки несподівано, що Ган не повірив. Елементи, більші за уран, просто не могли поводитися так само, як крихітний металевий елемент, який не перебуває поруч з ураном у періодичній таблиці. Він чемно сказав Фредеріку Жоліо-Кюрі, що лантановий зв'язок є нісенітницею, і пообіцяв повторити експерименти Ірен, аби показати, що трансуранові елементи не мають нічого спільного з лантаном.

Того ж 1938 року світ Лізи Майтнер зазнав краху. Гітлер нахабно анексував Австрію і прийняв усіх австрійців як своїх арійських братів — за винятком тих, хто хоч віддалено був євреєм. Після років добровільної невидимості Майтнер раптово стала потенційною жертвою нацистських погромів. І коли її колега, хімік, спробував її здати, Майтнер не залишалось нічого іншого, як утекти, маючи із собою лише одяг та десять дойчмарок. Вона знайшла притулок у Швеції та отримала роботу — іронічно! — в одному з Нобелівських наукових інститутів.

Попри труднощі, Ган залишався вірним Майтнер, і вони продовжували співпрацювати, пишучи листи, наче таємні коханці, і періодично зустрічаючись у Копенгагені. Під час однієї з таких зустрічей наприкінці 1938 року Ган був трохи вражений. Повторивши експе-

рименти Ірен Жоліо-Кюрі, він знайшов її елементи. І вони не тільки поводитись як лантан (та ще один найближчий елемент, знайдений нею, — барій), але, згідно з кожним відомим хімічним випробуванням, вони й були лантаном та барієм. Ган уважався найкращим хіміком у світі, але цей висновок «суперечить[ив] усьому попередньому досвіду», як пізніше визнав він. Ган зізнався Майтнер у своїй принизливій розгубленості.

Вона не була збита з пантелику. З усіх великих розумів, які працювали над трансурановими елементами, лише завзята Майтнер зрозуміла, що вони зовсім не трансуранові. Вона одна (після обговорень зі своїм племінником та новим партнером, фізиком Отто Фрішем) усвідомила, що Фермі не відкрив нових елементів — він відкрив поділ ядер. Він розбив уран на дрібніші елементи й неправильно інтерпретував свої результати. Ека-лантан, який знайшла Жоліо-Кюрі, — це звичайний лантан, результат перших крихітних ядерних вибухів! Гевеші, який бачив ранні чернетки статей Жоліо-Кюрі того часу, згодом згадував, як близько вона підійшла до цього немислимого відкриття. Але Жоліо-Кюрі, за словами Гевеші, «недостатньо довіряла собі», щоби повірити правильному тлумаченню. А ось Майтнер собі довіряла й переконала Гана, що всі інші помиляються.

Звичайно, Ган хотів одразу опублікувати ці захопливі результати, але його співпраця з Майтнер та борг перед нею зробили це політично складним. Вони обговорили варіанти, і вона погодилася, щоби авторами ключової статті було зазначено лише Гана та помічника. Теоретичний внесок Майтнер та Фріша, який надав усьому сенс, з'явився згодом в окремому журналі. З цими публікаціями ядерний поділ народився саме вчасно, до вторгнення Німеччини до Польщі та початку Другої світової війни.

Так розпочалася неймовірна послідовність подій, яка завершилася найгучнішим недоглядом в історії Нобелівської премії. 1943 року, навіть не знаючи про Мангеттенський проєкт, Нобелівський комітет вирішив нагородити ядерний поділ премією. Питання було в тому, хто її заслужив. Ган, зрозуміло. Але війна ізолювала Швецію й унеможливила опитування науковців про внесок Лізи Майтнер, що є невід'ємною частиною рішення комітету. Тому комітет покладався на наукові журнали, які надходили із запізненням на місяці чи взагалі не надходили і багатьом з яких, особливо престижним

німецьким, було заборонено згадувати Майтнер. Виниклий розрив між хімією та фізикою також ускладнював нагородження міждисциплінарної роботи.

Після призупинення премій 1940 року Шведська академія почала присуджувати деякі заднім числом 1944 року. Спочатку Гевеші на-решті отримав вакантну премію з хімії 1943 року — хоча, можливо, це був частково політичний жест на честь усіх учених-біженців.

1945 року комітет докладніше розглянув питання, пов'язані з ядерним поділом. Майтнер і Ган мали сильних захисників у Нобелівському комітеті, але прихильник Гана мав намір сказати, що Майтнер не робила жодної «надзвичайно важливої роботи» за попередні кілька років — коли вона переховувалася від Гітлера. (Незрозуміло, чому комітет ніколи безпосередньо не поспілкувався з Майтнер, яка працювала в сусідньому Нобелівському інституті, хоча зазвичай це погана практика — опитувати людей щодо того, чи заслуговують вони на премію.) Захисник Майтнер виступав за спільну премію і, можливо, переважив би з часом. Але коли він несподівано помер, члени комітету, дружні до нацистської Осі, мобілізувались, і Ган одноосібно отримав премію 1944 року.

Ганебно, що Ган, коли отримав повідомлення про свою перемогу (тоді союзники тримали його під вартою за підозрою в роботі над атомною бомбою Німеччини; пізніше його звільнили), не виступив за Майтнер. Зрештою жінка, яку він колись уважав достойною, щоби кинути виклик своєму начальству й працювати з нею в столлярній майстерні, не отримала нічого — жертва, як писали деякі історики, «дисциплінарної упередженості, політичної тупості, необізнаності та поспіху»*.

Комітет міг це виправити 1946 року або пізніше, звичайно, після того, як історичні дані чітко пояснили внесок Майтнер. Навіть архітектори Мангеттенського проекту визнавали, скільки вони їй заборгували. Але Нобелівський комітет, відомий тим, що журнал *Time* колись назвав «дратівливістю старої діви», не схильний визнавати помилки. Попри те, що Майтнер все життя неодноразово висували — і серед тих, хто її підтримував, зокрема, був Казімеж Фаянс, який краще за всіх знав біль від втрати Нобелівської премії, — вона померла 1968 року, так і не ставши лауреатом.

Однак, на щастя, «історія має свій баланс». Трансурановий елемент сто п'ять спочатку назвали ганієм на честь Отто Гана. Це зро-

били Glenn Сіборг, Альберт Гіорсо та інші 1970 року. Але під час суперечки щодо прав на імена міжнародний комітет (ніби ганій — це Польща) позбавив елемент цього імені 1997 року, охрестивши його дубнієм. Через особливі правила іменування елементів* — по суті, кожна назва отримує право лише на одне використання — ганій ніколи не може розглядатися як назва нового елемента в майбутньому. Нобелівська премія — це все, що отримав Ган. І незабаром комітет коронував Лізу Майтнер набагато ексклюзивнішою почесною, ніж премія, що вручається щороку. Елемент сто дев'ять тепер і назавжди буде відомий як майтнерій.

13

Елементи як гроші

$^{30}_{65.384}\text{Zn}$	$^{79}_{196.967}\text{Au}$	$^{52}_{127.503}\text{Te}$	$^{63}_{151.964}\text{Eu}$	$^{13}_{26.982}\text{Al}$
---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------

Періодична система має історію з політикою, але ще довші та затишніші стосунки вона має з грошима. Історії багатьох металевих елементів не можна розповісти, не заплутавшись в історії грошей, а це означає, що історія цих елементів переплутана також з історією підробок. У різні століття велика рогата худоба, спеції, зуби дельфінів, сіль, какао-боби, сигарети, ноги жуків та тюльпани слугували валютою, жодну з яких не можна було переконливо підробити. З металами все легше. Перехідні метали особливо подібні за хімічними властивостями та густиною, оскільки мають схожу електронну структуру й можуть змішуватися між собою та замінювати один одного в сплавах. Різні комбінації дорогоцінних та не дуже цінних металів обдурюють людей протягом тисячоліть.

Близько 700 р. до н. е. принц на ім'я Мідас успадкував царський дім Фрігії на території сучасної Туреччини. Згідно з різними міфами (які можуть поєднувати двох правителів на ім'я Мідас), він вів насичене подіями життя. Ревнивий Аполлон, бог музики, попросив Мідаса бути суддею музичної суперечки між ним та іншими великими лірниками тієї епохи, а потім, коли цар віддав перевагу не Аполлону, а комусь іншому, перетворив вуха Мідаса на осячі. (Він не заслуговував людських вух, якщо так погано оцінював музику.) Також Мідас, як повідомляється, мав найкращий трояндний сад в антич-

ному світі. З наукового погляду, Мідас іноді отримує почесні за виявлення олова (неправда, хоча цей метал добували в його царстві) та мінералів «чорний свинець» (графіт) та «білий свинець» (красивий, яскраво-білий, отруйний свинцевий пігмент). Звичайно, сьогодні ніхто не пам'ятав би Мідаса, якби не чергова металургійна новинка, його золотий дотик. Він заробив його, доглянувши за п'яним сатиром Сіленом, який одного вечора втратив свідомість у трояндовому саду царя. Сілен так оцінив гостинність монарха, що запропонував Мідасу винагороду. Цар попросив, щоб усе, до чого він доторкнеться, перетворювалося на золото,— насолода, яка незабаром коштувала йому власної доньки, коли він обійняв її, і майже коштувала життя, оскільки деякий час навіть їжа на його вустах трансформувалась у золото.

Очевидно, нічого з цього, мабуть, ніколи не траплялося зі справжнім царем. Але є свідчення того, що Мідас не дарма заробив свій легендарний статус. Усе це веде від бронзового віку, який розпочався в околицях тих земель близько 3000 р. до н. е. Однією з високотехнологічних галузей того часу було лиття бронзи — сплаву олова та міді. Хоча метал залишався дорогим, така технологія застосовувалась у більшості царств до часів правління Мідаса. Скелет царя, якого в народі називали Мідас (але пізніше виявився, що це його батько Гордіас), було знайдено в гробниці у Фрігії в оточенні бронзових казанів та красивих бронзових мисок з написами, а на самому оголеному скелеті залишився бронзовий пояс. Але, кажучи «бронза», ми повинні бути більш конкретними. Це не як вода, де дві частини водню завжди поєднуються з однією частиною кисню. Бронзою вважається кілька різних сплавів із різним співвідношенням металів, а бронзові метали в стародавньому світі відрізнялися кольором залежно від процентного вмісту олова, міді та інших елементів у тих місцях, де видобували метали.

Однією з унікальних особливостей металевих родовищ поблизу Фрігії була велика кількість руди з цинком. Цинкові та олов'яні руди зазвичай поєднуються в природі, і поклади одного металу можна легко помилково прийняти за інший. Цікаво, що цинк, змішаний із міддю, не утворює бронзи — він утворює латунь. А найдавніші відомі ливарні вироби з латуні існували в усіх місцях тієї частини Малої Азії, де колись царював Мідас.

Уже здогадалися? Знайдіть щось бронзове та щось латунне й огляньте ці речі. Бронза блискуча, але з відтінками міді. Ви б не

прийняли її за щось інше. Латунний блиск привабливіший, витонченіший, трохи більше... золотий. Тоді дотик Мідаса був, можливо, саме випадковим дотиком цинку в ґрунті його куточка Малої Азії.

Щоби перевірити цю теорію, 2007 року професор металургії з Університету Анкари (Туреччина) та кілька істориків побудували примітивну піч епохи Мідаса, у яку завантажили місцеві руди. Вони розплавляли їх, вилили отриману рідину у формочки й дали їй охолонути. О диво, рідина застигла в неймовірно золотий злиток. Природно, неможливо дізнатися, чи вірили сучасники царя Мідаса, що його дорогоцінні, приправлені цинком миски, статуї та пояси насправді були золотом. Але не обов'язково саме вони склали легенди про нього. Більш імовірно, що грецькі мандрівники, які пізніше колонізували цей регіон Малої Азії, просто були вражені фригійськими «бронзами», набагато яскравішими, ніж їхні власні. Розповіді, які надходили від них до Греції, могли прикрашатися століття за століттям, поки латунь із золотистими відтінками не перетворилася на справжнє золото, а земна сила місцевого героя — на надприродну спроможність створювати дорогоцінні метали одним дотиком. Після цього генію Овідія знадобилося лише додати цю історію до своїх «Метаморфоз» — і *вуаля*: міф із більш ніж правдоподібним походженням.

Ще глибшим архетипом людської культури, ніж Мідас, є загублене місто золота — розповіді про мандрівників у далеких, чужих країнах, що спотикаються об нечувані багатства. Ельдорадо! У сучасні та (трохи) більш реалістичні часи ця мрія часто набуває форми золотої лихоманки. Той, хто приділяв їй увагу урокам історії, знає, що справжні золоті лихоманки були жахливими, брудними, небезпечними справами, з ведмедами та вошами, обвалами шахт та безліччю жалюгідних блудів та азартних ігор. І шанси на те, що людина зрештою розбагатіє, були майже нульовими. І все ж майже кожен, хто мав краплину уяви, мріяв покинути все у своєму скромному житті й поспішити на пошуки кількох чистих самородків. Прагнення до великих пригод і любов до багатства практично вбудовані в людську природу. Через це історія усіяна незліченними золотими лихоманками.

Природа, зрозуміло, не хоче розлучатися зі своїми скарбами так легко, тому вона винайшла залізний пірит (дисульфід заліза),

щоби перешкодити пошукам аматорів. Бо залізний пірит блищить блиском, яскравішим за справжнє золото,— як золото у мультфільмі чи золото в уяві. І під час «золотої лихоманки дурнів» до пошуків долучилося чимало новачків та людей, засліплених жадібністю. Але найбільш дика золота лихоманка за всю історію, мабуть, мала місце 1896 року, на горбкуватій прикордонній землі в австралійській глибинці. Якщо залізний пірит є штучним золотом, то ця золота лихоманка в Австралії — яка врешті-решт виявила відчайдушних шукачів, що збивали кирками власні димоходи та просіювали завали — була, мабуть, першою масовою божевільною скачкою в історії, спричиненою «золотом дурних дурнів».

Трое ірландців, зокрема Патрік (Педді) Ганнан, 1893 року проїжджали глибинкою, коли один з їхніх коней загубив підкову за двадцять миль від дому. Це, можливо, була найщасливіша поломка в історії. Протягом декількох днів, не маючи необхідності заглиблюватися хоч на дюйм у землю, вони зібрали вісім фунтів золотих самородків, просто розгулюючи місциною. Чесне, але дурноголове тріо подало заявку до територіальних чиновників, які занесли це місце до державного обліку.

Не минуло й тижня, як стало відомо про цю публікацію, а сотні старателів уже штурмували «Ганнанову знахідку», щоби спробувати щастя.

У певному сенсі, цю місцевість було легко обчищати. У ті перші місяці золота в пустелі було більше, ніж води. Але хоча звучить це чудово, насправді так не було. Ви не можете пити золото, і, коли нагромаджувалось усе більше й більше шахтарів, ціни на припаси зростали, а конкуренція за золотonosні ділянки посилювалася. Людям уже доводилося не збирати, а копати золото, і деякі спритники зрозуміли, що натомість легше заробляти гроші, будуючи справжнє місто. У «Ганнановій знахідці» як гриби після дощу з'явилися броварні та борделі, а також будинки та навіть мощені дороги. Для цегли, цементу та будівельного розчину будівельники збирали пусту породу, що лишалася після розкопок. Шахтарі просто відкидали її вбік, і, поки вони продовжували копати, це було краще, що можна було зробити з відвалами.

Або ж вони так припускали. Золото — метал не компанійський. Ви не знайдете його домішки в мінералах та рудах, оскільки воно не зв'язується з іншими елементами. Його лусочки та самородки за-

звичай чисті, крім кількох дивовижних сплавів. Винятком, єдиним елементом, який зв'язується із золотом, є телур, вампірський елемент, уперше виділений у Трансильванії 1782 року. Телур поєднується із золотом, утворюючи деякі мінерали з примхливими назвами — кренерит, петцит, сільваніт та калаверит — і деякими не менш потворними хімічними формулами. Замість приємних пропорцій, як-от H_2O та CO_2 , кренерит, наприклад,— це $(\text{Au}_{0,8}, \text{Ag}_{0,2}) \text{Te}_2$. Ці телуриди теж мають різний колір, і один із них, калаверит, блищить наче жовтим.

Насправді його блиск більше нагадує латунь або залізний пірит, ніж глибокий відтінок золота, але, мабуть, це досить близько, щоб обдурити вас, якщо ви весь день були на сонці. Ви можете собі уявити подряпану та брудну вісімнадцятирічну дівчинку, яка тягне калаверитові самородки до місцевого оцінювача в «Ганнановій знахідці», лише щоби почути, як той відхиляє їх як мішок того, що мінералоги класифікують як «беґошіт»¹. Пам'ятайте також, що деякі сполуки телуру (не калаверити, але інші) дуже різко пахнуть, ніби підсилений у тисячу разів запах часнику,— сморід, котрого, як відомо, важко позбутися. Краще продати його будівельникам, а вони поховають цю породу в дорожній насип, де вона не буде смердіти, й повернутися до копання справжнього добра.

Проте люди просто продовжували нагромаджуватися в «Ганнановій знахідці», а їжа та вода не дешевшали. Одного разу напруженість щодо поставок зросла настільки, що почався справжній бунт. І коли ситуація стала зовсім критичною, пішли чутки про ту жовтувату телурову породу, яку люди викопували та викидали. Навіть якщо прості копачі не були знайомі з калаверитом, геологи були тут не один рік і знали його властивості. Він розкладається за низьких температур, що полегшує виділення золота. Вперше калаверит було знайдено в Колорадо в 1860-х*. Історики підозрюють, що проїжджі, котрі однієї ночі розклали вогнище, помітили, що, камені, якими вони обклали вогонь, гм... сочаться золотом. Досить скоро історії про це дійшли до «Ганнанової знахідки».

Нарешті, 29 травня 1896 року, розпочалося пекло. Деякі з калаверитів, що використовувалися для будівництва в «Ганнановій знахідці», містили п'ятсот унцій (15,5 кг) золота на тонну породи, і незабаром шахтарі видирали кожну прокляту унцію, яку могли

¹ Натяк на *bag of shit* — мішок лайна.— Прим. перекл.

знайти. Передусім люди накинулися на купи сміття, вишукуючи серед них викинуті камені. Коли сміття було перебрано дочи́ста, узялися за саме місто. Замощені вибоїни знову стали вибоїнами; тротуари було здерто; і можу битися об заклад, що шахтар, який збудував димар і піч для свого нового будинку із телуридової цегли з домішками золота без зайвих сентиментів розвалив їх.

У наступні десятиліття регіон навколо «Ганнанової знахідки», незабаром перейменованій на Калгурлі, став найбільшим у світі виробником золота. Вони називали це Золотою милею, а Калгурлі хвалилися, що його інженери випередили решту світу, коли справа дійшла до видобутку золота із землі. Здається, пізніші покоління засвоїли цей урок — у жодному разі не викидати каміння — після «золотої лихоманки дурних дурнів» своїх батьків.

Цинк Мідаса і телур Калгурлі були рідкісними випадками ненавмисного обману: два невинні моменти в історії грошей, оточені епохами свідомої підробки. За століття після Мідаса в Малій Азії, у Лідії, з'явилися перші справжні гроші — монети, виготовлені з природного сплаву срібла та золота під назвою електрум. Незабаром після цього інший казково багатий давній правитель, лідійський цар Крез, у процесі створення реальної валютної системи придумав, як розділити електрум на срібні та золоті монети. І за кілька років після подвигу Креза, 540 р. до н. е., цар Полікрат на грецькому острові Самос почав підкуповувати своїх ворогів у Спарті свинцевими зливками, покритими золотом. Відтоді фальшивомонетники використовували свинець, мідь, олово та залізо так само, як підлі бармени використовують воду в кегах пива — щоби реальних грошей стало трохи більше.

Зараз фальсифікація вважається шахрайством, але протягом більшої частини історії казна королівства була настільки пов'язана з його економічним здоров'ям, що монархи вважали підробку найгіршим злочином — зрадою. Засуджені за таку зраду стикалися з повішенням, якщо не гірше. Підробка завжди приваблювала людей, які не розуміють альтернативних витрат — основний економічний закон, згідно з яким ви можете заробляти набагато більше грошей на чесній торгівлі, ніж витрачаючи сотні годин на вироблення «безкоштовних» грошей. Проте знадобилося кілька блиску-

чих розумів, щоби перемогти цих злочинців і розробити щось, хоч трохи наближене до захищеної валюти.

Наприклад, набагато пізніше того, як Ісаак Ньютон вивів закони числення і свою монументальну теорію гравітації, 1699 року він став майстром Королівського монетного двору Англії. На початку свого шостого десятку життя Ньютон просто хотів добре оплачуваної державної посади, але, до його честі, він не підходив до неї як до прибуткової посади. Підробка — особливо «відсікання» монет шляхом гоління країв та розплавлення обрізків, щоби зробити нові монети — була ендемічною в кримінальних районах Лондона. Великий Ньютон мав контактувати зі шпигунами, босяками, п'яницями та злодіями — сплетінням, яке йому цілком сподобалося. Благочестивий християнин Ньютон переслідував злочинців, яких він розкривав, гнівом старозавітного Бога, відмовляючи в проханні про помилування. Серед них був один горезвісний, але слизький фальшивомонетник, Вільям Шалонер, який роками дратував Ньютона звинуваченнями в шахрайствах на монетному дворі. Цього злодія повісили й публічно випотрошили.

Підробка монет домінувала в часи керування Ньютона монетним двором, але невдовзі після того, як він подав у відставку, світова фінансова система стикнулася з новими загрозами від фальшивої паперової валюти. У 1200-х монгольський імператор у Китаї Хубілай увів у державі паперові гроші. Спочатку новація швидко поширилася в Азії — частково тому, що Хубілай страчував усіх, хто відмовлявся нею користуватися, — але лише уривчасто в Європі. І все ж до того моменту, коли 1694 року Банк Англії почав випускати паперові купюри, переваги такої валюти стали очевидними. Руди для виготовлення монет були дорогими, самі монети були громіздкими, і багатство, засноване на них, занадто залежало від нерівномірно розділених мінеральних ресурсів. Крім того, оскільки в минулі століття знання про обробку металу були значно поширенішими, більшості людей було простіше підробляти монети, ніж паперові гроші. (Сьогодні ситуація зворотна. Кожен, хто має лазерний принтер, може зробити пристойну купюру у 20 доларів. Чи є у вас хоч один знайомий, який зміг би відлити задовільний десятицентовик, навіть якщо таке було б варто робити?)

Якщо приєдна до сплавів хімія металевих монет колись сприяла шахраям, то в епоху паперових грошей унікальна хімія металів, як-от європей, допомагає урядам боротись із шахрайством.

Усе це походить від хімії Європію, особливо руху електронів усередині його атомів. Поки що ми обговорювали лише електронні зв'язки, тобто рух електронів між атомами. Але електрони також постійно кружляють навколо ядер власних атомів, і це можна порівняти з планетами, що кружляють навколо Сонця. Хоча це досить гарна аналогія, вона має недолік, якщо сприймати її буквально. Теоретично Земля могла опинитися на багатьох різних орбітах навколо Сонця. Електрони ж не можуть пройти жодного старого шляху навколо ядра. Вони рухаються всередині оболонок на різних енергетичних рівнях, і оскільки немає рівня енергії між першим і другим, другим і третім тощо, шляхи електронів дуже обмежені: вони обертаються лише на певній відстані від свого «сонця» й описують довгасті фігури під кумедними кутами. На відміну від планети, електрон — якщо його збуджує тепло або світло — може перестрибнути зі своєї низькоенергетичної оболонки в порожню високоенергетичну оболонку. Електрон не може довго перебувати у високоенергетичному стані, тому незабаром він знову падає. Але це не простий рух уперед-назад, тому що, падаючи, електрон викидає енергію, випромінюючи світло.

Колір випромінюваного світла залежить від відносної висоти початкового та кінцевого рівнів енергії. Падіння між близько розташованими рівнями (як-от другий та перший) випускає імпульс червонуватого світла з низькою енергією, тоді як падіння між більш віддаленими рівнями (скажімо, п'ятим та другим) вивільняє високоенергетичне фіолетове світло. Оскільки можливості електронів щодо того, куди зістрибувати, обмежені цілим числом енергетичних рівнів, випромінюване світло також обмежене. Світло, яке випромінюють електрони в атомах, не схоже на біле світло від лампочки. Натомість електрони випромінюють світло дуже специфічних, дуже чистих кольорів. Оболонки в елементах розташовані на різній висоті, тому кожен елемент виділяє смуги характерного кольору — саме ці смуги Роберт Бунзен спостерігав за допомогою своїх пальника та спектроскопа. Пізніше усвідомлення того, що електрони перескакують на ціле число рівнів і ніколи не обертаються на дробових рівнях, було фундаментальним розумінням квантової механіки. Усе шалене, що ви колись чули про квантову механіку, безпосередньо чи опосередковано походить від цих безперервних стрибків.

Як описано вище, європій може випромінювати світло, але не дуже добре: він та його брати-лантаніди неефективно поглинають світло або тепло, що надходить (ще одна причина, чому хіміки так довго мали проблеми з їх ідентифікацією). Але світло — це міжнародна валюта, яку можна викупити в багатьох формах в атомному світі, і лантаніди можуть випромінювати світло в інші способи, не лише за рахунок простого поглинання. Це називається флуоресценція*, яка знайома більшості людей за чорними вогнями та психоделічними плакатами. Загалом, у нормальних випромінюваннях світла беруть участь лише електрони, а у флуоресценції — цілі молекули. І якщо електрони поглинають і випромінюють світло того самого кольору (жовтий на вході — жовтий на виході), флуоресцентні молекули поглинають високоенергетичне світло (ультрафіолетове), але випромінюють цю енергію як видиме світло з нижчою енергією. Залежно від молекули, до якої він приєднаний, європій може випромінювати червоне, зелене або синє світло.

Ця універсальність є джерелом страхів для фальшивомонетників і робить європій чудовим засобом боротьби з підробкою. Європейський Союз (ЄС) фактично використовує елемент-тезка в чорнилі на своїх паперових купюрах. Щоби приготувати чорнило, казначейські хіміки ЄС пов'язують флуоресцентний барвник з іонами європію, який закріплюється на одному кінці молекул барвника. (Ніхто насправді не знає, які барвники, оскільки ЄС, як повідомляється, заборонив їх вивчати. Законослухняні хіміки можуть лише здогадуватися.) Попри цю таємничність, хіміки знають, що такі барвники складаються з двох частин. Перша — це приймач, або антена, яка утворює основну частину молекули. Антена уловлює світлову енергію, яка надходить і яку європій не може поглинути; перетворює її на вібраційну енергію, котру європій може поглинати; і передає цю енергію до іншого кінця молекули. Там європій збуджує свої електрони, які підскакують до вищих енергетичних рівнів. Але безпосередньо перед тим, як електрони стрибають, падають і випромінюють, частина вхідної енергії хвилі «відскакує» назад до антени. Цього не сталося б з ізольованими атомами європію, але тут об'ємна частина молекули гасить енергію та розсіює її. Через цю втрату, падаючи назад, електрони виробляють світло з нижчою енергією.

То чому ця зміна корисна? Флуоресцентні барвники підібрано так, щоб європій був тьмяним під видимим світлом, а фальшиво-

монетник міг заспокоїтись, гадаючи, що він має ідеальну копію. Однак підсуньте купюру євро під спеціальний лазер, і той буде «лоскотати» невидиму фарбу. Сам папір стає чорним, але невеликі, довільно розташовані волокна, прошиті європієм, виринають, як різнобарвні сузір'я. Вугільного кольору контур Європи світиться на купюрах зеленим, як його могли б побачити чужі очі з космосу. Пастельний вінок із зірок набуває корону жовтого або червоного кольору, а пам'ятники, підписи та приховані печатки сяють королівським синім. Банківські працівники виловлюють підробки, просто шукаючи купюри, на яких не відображаються всі ці ознаки.

Тож на кожній банкноті насправді два євро: той, який ми бачимо день у день, і другий, прихований євро, що відображається безпосередньо на першому — вбудований код. Цей ефект надзвичайно важко підробити без професійної підготовки, а барвники з європієм, у поєднанні з іншими захисними елементами, роблять євро найскладнішою з колись розроблених валют. Безумовно, банкноти євро продовжують підробляти; це, мабуть, не припиниться, доки людям подобається тримати готівку. Але в боротьбі за уповільнення цього процесу європейці посів місце серед найдорожчих металів періодичної таблиці.

Попри всі підробки, протягом історії багато елементів використовувались як законна валюта. Деякі з них, як-от сурма, зазнали краху. Інші стали грошима за жахливих обставин. Працюючи на тюремному хімічному заводі під час Другої світової війни, італійський письменник і хімік Прімо Леві почав красти маленькі палички церію. Церій іскрить під час удару, що робить його ідеальним кременем для запальничок, тож він продавав палички цивільним працівникам в обмін на хліб і суп. Леві потрапив до концтабору досить пізно, ледь не помер з голоду й почав торгувати церієм лише в листопаді 1944 року. Він підрахував, що це забезпечило йому паїок на два місяці життя — достатньо для того, щоби проіснувати, поки радянська армія не звільнила табір у січні 1945 року. Його знання церію — це те, завдяки чому ми маємо сьогодні його шедевр «Періодична таблиця», написаний після Голокосту.

Інші пропозиції щодо елементної валюти були менш прагматичними та більш ексцентричними. Гленн Сіборг, захоплений ядерним

ентузіазмом, якимось припустив, що плутоній стане новим золотом у світових фінансах, оскільки він настільки цінний для ядерних застосувань. Можливо, як знущання із Сіборга, один з авторів наукової фантастики якимось припустив, що кращою валютою для світового капіталізму будуть радіоактивні відходи, оскільки монети, штамповані з них, безперечно, циркулювали б дуже швидко. І звичайно, під час кожної економічної кризи люди до болю в шлунку мріють про повернення до золотого або срібного стандарту. Більшість країн уважали паперові купюри еквівалентом справжнього золота чи срібла до ХХ століття, і люди могли вільно обмінювати папери на метал. Деякі літературознавці вважають, що героїня книжки Л. Френка Баума 1900 року «Чарівник країни Оз» — Дороти — взула срібні, а не рубінові черевики та подорожувала цегляною дорогою золотого кольору до міста кольору доларової готівки, алегорією про відносні переваги срібла проти золотого стандарту.

Проте, хоч якою застарілою здавалася економіка, що базується на металах, такі люди мали рацію. Хоча метали досить неліквідні, ринки металів є одним із найбільш стабільних довгострокових джерел багатства. Це навіть не обов'язково має бути золото чи срібло. Унція за унцією, найцінніший елемент серед тих, які ви можете насправді купити, це родій. (Ось чому, щоби перевершити платиновий рекорд, «Книга рекордів Гіннеса» 1979 року подарувала колишньому «бітлу» Полу Маккартні диск, зроблений із родію, аби відсвяткувати те, що він став музикантом-бестселером усіх часів.) Але ніхто й ніколи не заробляв так швидко і так багато на елементі з періодичної системи, як американський хімік Чарлз Голл на алюмінії.

Кілька блискучих хіміків присвятили свою кар'єру алюмінію протягом 1800-х років, і важко судити, чи став цей елемент після того кращим чи гіршим. Данський та німецький хіміки одночасно видобули цей метал із давніх терпких квасців — приблизно 1825 року. (Квасці — це порошок, який іноді ковтають мультиплікаційні персонажі, як-от кіт Сильвестр, від чого їхні пащі викривлюються, наче від кислотою). Через блиск алюмінію мінералоги одразу віднесли його до дорогоцінних металів, як-от срібло або платина, вартістю сотні доларів за унцію.

За двадцять років один француз зметикував, як масштабувати отримання для промисловості, що зробило алюміній комерційно доступним за ціною. Але він таки залишався дорожчим за золото.

Це було пов'язано з тим, що, попри свою поширеність у земній корі — близько 8 % її ваги, що в сотні мільйонів разів більше, ніж у золота, — алюміній ніколи не з'являється в чистому вигляді, як у материнській жилі. Він завжди пов'язаний із чимсь, зазвичай із киснем. Чисті зразки вважалися дивом. Колись французи виставляли алюмінієві бруски, схожі на золоті зливки з Форт-Ноксу, поруч зі своїми коронними коштовностями, а неповнолітній імператор Наполеон III зарезервував цінні набори алюмінієвого столового приладдя для особливих гостей на бенкетах. (Менш шановані гості користувалися золотими ножами й виделками.) У Сполучених Штатах державні інженери, щоби продемонструвати промислову досконалість своєї країни, 1884 року накрили монумент Вашингтона шестифунтовою пірамідою з алюмінію.

Історик повідомляє, що одна унція стружки з піраміди оплатила б денну заробітну плату кожному з робітників, які її звели.

Шістдесятилітнє правління алюмінію як найдорожчої речовини у світі було славним, але незабаром один американський хімік усе зіпсував. Властивості металу — легкий, міцний, привабливий — спричиняли танталові муки у виробників, а його всюдисущість у земній корі могла революціонізувати виробництво металів. Це зробило одержимими багато людей, але ніхто не міг знайти ефективного способу відокремити його від кисню. В Коледжі Оберлін у штаті Огайо професор хімії на ім'я Френк Фаннінг Джуетт розважав своїх студентів казками про алюмінієве Ельдорадо, яке чекало на того, хто оволодів би цим елементом. І принаймні один із його учнів мав наївність сприймати свого професора серйозно.

У свої пізні роки професор Джуетт хвалився старим друзям по коледжу: «Моїм найбільшим відкриттям було відкриття людини» — Чарлза Голла. Голл працював із Джуеттом над відділенням алюмінію протягом усіх студентських років в Оберліні. Він зазнавав невдачі знову і знову, але щоразу ставав розумнішим. Нарешті 1886 року Голл провів електричний струм від батарей ручної роботи (ліній електропередачі ще не існувало) крізь рідину з розчиненими сполуками алюмінію. Енергія струму виокремила й звільнила чистий метал, який збирався в дрібні сріблясті камінці на дні резервуара. Процес був дешевим та простим і міг працювати у величезних чанах так само добре, як і на лабораторному столі. Це була найбільш шукана хімічна здобич від часів філософського

каменю, і Голл її здобув. «Алюмінієвому вундеркінду» було лише двадцять три роки.

Однак статок Голла виник не одразу. Французький хімік Поль Еру натрапив на більш-менш подібний процес майже одночасно. (Сьогодні Голл та Еру поділяють славу за відкриття, яке спричинило крах на ринку алюмінію.) Француз винайшов інший метод виділення 1887 року, і під тягарем конкуренції Голл швидко заснував у Пітсбургу *Aluminum Company of America*, або *Alcoa*. Це підприємство перетворилося на один із найуспішніших бізнесів в історії.

Виробництво алюмінію в *Alcoa* зростало експоненційними темпами. У перші місяці 1888 року компанія отримувала 50 фунтів алюмінію на добу; два десятиліття по тому вона відправляла 88 000 фунтів на день, щоб якось задовольнити попит. І поки виробництво стрімко зростало, ціни різко падали. За кілька років до народження Голла прорив однієї людини за сім років знизив ціну на алюміній з 550 до 18 доларів за фунт. П'ятдесят років по тому, навіть без корекції на інфляцію, компанія Голла знизила ціну до 25 центів за фунт. Такі темпи було перевершено, мабуть, лише один раз в американській історії, за вісімдесят років, під час революції кремнієвих напівпровідників*, і, як і наші останні комп'ютерні барони, Голл неабияк нажився. У день його смерті 1914 року він володів акціями *Alcoa* на суму 30 млн доларів* (сьогодні це близько 650 млн доларів). А завдяки Голлу алюміній став звичайним металом, який ми всі знаємо як матеріал для пивних банок, бейсбольних біт для Дитячої ліги та корпусів літаків. (Трохи анахронічно, але він усе ще перебуває на вершині Монумента Вашингтона.) Гадаю, лише від вашого смаку та темпераменту залежить, що вважати за краще: що алюміній був найціннішим у світі металом чи що він став найпродуктивнішим.

До речі, у міжнародному правописі використовується «*aluminium*», в американському — «*aluminum*». Ця орфографічна розбіжність* сягає своїм корінням швидкого підйому цього металу. Коли на початку 1800-х хіміки припускали існування тринадцятого елемента, вони використовували обидва написання, але врешті-решт зупинилися на додатковому «і». Це написання відповідало нещодавно виявленим тоді барію, магнію, натрію та стронцію. Коли Чарлз Голл подав патентну заявку на електричний процес, він також використав «*aluminium*». Однак, рекламуючи свій блискучий

метал, Голл був вільнішим у мові. Існують суперечки щодо того, було вилучення «i» навмисним чи випадковою помилкою на рекламних листівках, але коли Голл побачив «*aluminum*», то вирішив, що це блискуча вигадка. Він назавжди викинув «i» і в такий спосіб зрівняв свій виріб із класичним «*platinum*». Його новий метал так швидко з'явився і зробився настільки економічно важливим, що «*aluminum*» став незгладимо викарбованим в американській психіці. Як завжди в Сполучених Штатах, гроші вирішують усе.

14

Художні елементи

⁶⁶ Dy 162.500	⁵⁹ Pr 140.908	³⁸ Sr 87.621	⁴⁴ Ru 101.072	⁸⁸ Ra 226	³ Li 6.941
--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-----------------------------

Відповідно до того, як наука ускладнювалася всю свою історію, вона дорожчала, і гроші, великі гроші, почали диктувати, за яких умов, коли і як наука має щось робити. Уже до 1956 року німецько-англійська письменниця Сибіл Бедфорд могла писати*, що минуло багато поколінь з того часу, коли «закони Всесвіту були тим, із чим людина могла би приємно мати справу в майстерні, створеній за конюшнями».

Звичайно, дуже нечисленні люди, переважно джентльмени з власною землею, могли дозволити собі маленьку майстерню, де мали змогу присвятити час наукам, у ті епохи, до яких тяжіла Сибіл Бедфорд — у XVIII та XIX століттях. Тож не випадково, що зазвичай саме люди вищих класів робили щось на кшталт відкриття нових елементів: ніхто інший не мав стільки дозвілля, щоби сидіти й сперечатися про те, з чого зроблено деякі незрозумілі камені.

Цей знак аристократизму лежить на періодичній таблиці, позначаючи вплив, який ви можете прочитати без краплини знань про хімію. Джентльмени по всій Європі отримували освіту, переобтяжену класикою, а багато які назви елементів — церій, торій, прометій — указують на давні міфи. Насправді забавні на вигляд назви, як-от празеодим, молібден та диспрозій,— це амальгами латини

з грецькою. Диспрозій означає «маленький прихований», оскільки його складно відокремити від своїх братів. Празеодім означає «зелений близнюк» з подібних причин (його друга половина — неодим, «новий близнюк»). Назви благородних газів здебільшого означають «чужий» або «неактивний». Навіть горді французькі джентльмени ще в 1880-х, даючи назви новим елементам, обрали не «Франція» і «Париж», а філологічно мертві «Галія» (галій) і «Лютетія» (лютетій) відповідно, ніби присмоктуючись до Юлія Цезаря.

Сьогодні все це здається дивним; учених навчали більше античним мовам, ніж самим наукам, — але протягом століть наука була не стільки професією, скільки хобі* для любителів, як-от філателія. Науку ще не було математизовано, бар'єри для вступу були низькими, і дворянин із впливового роду, хтось на кшталт Йоганна Вольфганга фон Гете, міг упертися в наукову дискусію, байдуже, кваліфікований він чи ні.

Сьогодні Гете пам'ятають як літератора, чий діапазон та емоційну силу багато які критики ставлять на друге місце після Шекспіра, але він не лише писав, а й відігравав активну роль в уряді та політичних дискусіях чи не в усіх сферах. Багато людей досі вважають його найкращим, найдосконалішим німцем за всю історію. Але мушу визнати, що моїм першим враженням від Гете було: то він трохи шахрай.

Одного літа в коледжі я працював у професора фізики, який, хоч і був чудовим казкарем, але завжди забував зробити запас основних витратних матеріалів, як-от електронні кабелі, а це означало, що я мав відвідати факультетську комору в підвалі й канючити їх. Господарем темниць був німецькомовний чоловік. Відповідно до своєї, наче у Квазімодо, роботи він часто був неголений і мав сплутане кучеряве волосся аж до плечей, а його великі руки та могутній торс здавалися б непропорційними відносно його 165 см. Я тремтів щоразу, коли стукав у його двері, ніколи не знаючи, що бурмотіти у відповідь, коли він примружить очі і скаже, радше насміхаючись, ніж запитуючи: «Він хабе ніхт ганц кохакціаль кабель?»

Мої стосунки з ним покращилися наступного семестру, коли я проходив (обов'язковий) курс, у якому він був асистентом викладача. Це були лабораторні роботи, що означало нудні години за складанням схем та монтажем дротів, і під часу перерв ми з ним кілька разів спілкувалися щодо літератури. Якось він згадав Гете,

про котрого я тоді ще не знав. «Він є Шакезпір Німеччини,— пояснив асистент.— Кожна пихата німецька дупа весь час його цитує. Це огидно. Та ще потім з подивом питають: “Що, ти не знаєш *Гете?*”»

Він прочитав Гете в оригіналі і визнав його посереднім. Я був ще занадто молодий, щоби мати власні тверді переконання, і такий осуд викликав у мене сумніви щодо Гете як великого мислителя. Пізніше, прочитавши більше, я оцінив його літературний талант. Але я повинен був визнати, що мій завідувач лабораторії мав рацію щодо посередності Гете в деяких сферах. Попри те що Гете дійсно епохальний автор, слова якого змінювали світ, він не міг стриматися від висловлювань у філософії та науці. Він зробив це з усім ентузіазмом дилетанта і приблизно такою самою компетентністю.

Наприкінці 1700-х Гете розробив теорію того, як працюють кольори, щоби спростувати концепцію Ісаака Ньютона; за винятком того, що Гете покладався на поезію не менше, ніж на науку, зокрема на свою химерну тезу, що «кольори — це дії світла, справи і страждання». Не хотілося б бурчати як позитивіст, але це твердження абсолютно нічого не означає. Він також обтяжив свій роман «Виборні спорідненості» безглуздою ідеєю, що шлюби працюють як хімічні реакції. Тобто якщо сконтактувати пару АВ з парою CD, вони всі можуть природно вчинити хімічний перелюб й утворити нові пари: $AB + CD \rightarrow AD + BC$. І це було не просто абстрактне припущення чи метафора. Персонажі насправді обговорюють цю алгебраїчну перебудову свого життя. Хай якими є інші сильні сторони роману (особливо зображення пристрасті), Гете було б краще вирізати з тексту науку.

Навіть шедевр Гете — «Фауст» — містить давно набридлу спекуляцію щодо алхімії та, що ще гірше (алхімія принаймні крута), безглуздий сократичний діалог між «нептуністами» і «плутоністами»* про те, як утворюються гірські породи. Нептуністи, як Гете, уважали, що в океані, царстві бога Нептуна, випадають осадки з мінералів; вони помилялися. Плутоністи, яких назвали на честь бога підземного світу Плутона і чий докази були захопливо сприйняті самим сатаною у «Фаусті», аргументовано стверджували, що більшість гірських порід утворюють вулкани та висока температура глибоко в землі. Як завжди, Гете обрав програшну сторону, бо це задовольняло його естетично. «Фауст» залишається такою ж потужною казкою про наукову гордовитість, як «Франкенштейн», але Гете був би

розчавлений, навіть після своєї смерті 1832 року, дізнавшись, що його науку та філософію незабаром буде зруйновано і тепер люди читають його твір суто через літературну цінність.

Проте Гете зробив один довгостроковий внесок у науку взагалі та в періодичну систему зокрема — завдяки покровительству. 1809 року, коли Гете був державним міністром, він мав обов'язок обрати вченого на відкриту кафедру хімії в Єнському університеті. Вислухавши рекомендації друзів, Гете, неначе в передбаченні, обрав іншого Йоганна Вольфганга — Й. В. Деберайнера. Той був провінціалом, який не мав ступеня з хімії, проте мав погане резюме, зацікавившись хімією лише після того, як зазнав невдачі у фармацевтичній, текстильній, сільськогосподарській галузях та пивоварінні. Однак робота Деберайнера в промисловості дала йому практичні навички, яких джентльмен на кшталт Гете ніколи не вивчав, але дуже захоплювався ними в епоху великих промислових стрибків. Невдовзі Гете зацікавився тезком, і вони провели багато щасливих годин, обговорюючи гарячі хімічні теми дня, наприклад, чому червонокочанна капуста заплямовує срібні ложки та які інгредієнти входили до зубної пасти мадам де Помпадур. Але дружба не могла повністю стерти величезні відмінності в походженні та освіті. Гете, природно, отримав загальну класичну освіту, і навіть сьогодні його часто називають (нехай із деяким перебільшенням) останньою людиною, яка знала все,— таке було можливо в часи, коли мистецтво, наука та філософія значною мірою перехрещувалися. До того ж він був космополітом, який багато подорожував, тобто «громадянином світу». Деберайнер же, коли Гете обрав його на посаду в Єні, ніколи навіть не виїжджав з Німеччини, а пани інтелектуали, як-от Гете, залишалися набагато типовішими вченими, ніж сільські мужаї, як молодший Й. В.

Тому досить доречно, що найбільший внесок Деберайнера в науку надихнув один із рідкісних елементів — стронцій, назва якого не є ані еллінською, ані заснованою на чомусь із Овідія. Стронцій був першим проблоском того, що існує щось на зразок періодичної системи. Один лікар виявив його 1790 року в лікарняній лабораторії в лондонському районі червоних ліхтарів, неподалік від старого шекспірівського театру «Глобус». Він назвав його за походженням мінералів, які вивчав,— від Стронтіан, шахтарського села в Шотландії,— і Деберайнер узяв у руки його роботу двадцять років по

тому. Дослідження Деберайнера зосереджувалися (зверніть увагу на практичність!) на пошуку точних способів зважування елементів, а стронцій був новим і рідкісним — тобто викликом. Заохочений Гете, він узявся вивчати характеристики елемента. Проте коли Деберайнер удосконалив свої обчислення щодо стронцію, то помітив щось дивне: вага елемента впала рівно між вагами кальцію та барію. Ба більше, коли він вивчав хімію стронцію, виявилось, що той поведився в хімічних реакціях як барій і кальцій. Стронцій був певною мірою сумішшю двох елементів — легшого та важчого.

Заінтригований, Деберайнер почав точно зважувати більше елементів, розвідуючи інші «тріади». Повискакували хлор, бром та йод; сірка, селен і телур; і більше. У кожному разі вага середнього елемента падала посередині між його хімічними кузенами. Переконавшись, що це не випадково, Деберайнер почав групувати ці елементи в те, що сьогодні ми визнали б стовпцями періодичної таблиці. Дійсно, хіміки, які створили перші періодичні таблиці за п'ятдесят років, починали зі стовпців Деберайнера*.

Причина, чому між Деберайнером та Дмитром Менделєєвим минуло п'ятдесят років без періодичної таблиці, полягала в тому, що робота з тріадами вийшла з-під контролю. Замість використовувати стронцій та його сусідів для пошуку універсального способу організації матерії, хіміки (під впливом християнства, алхімії та піфагорейського переконання, що цифри в якийсь спосіб утілюють справжню метафізичну реальність) почали всюди бачити триєдність і заглиблюватися в тріадичну нумерологію. Вони обчислювали тріади задля обчислення тріад і зводили кожне відношення три-в-одному, хоч яким непереконливим воно було, у ранг святині. Проте завдяки Деберайнеру стронцій став першим елементом, правильно розміщеним у більшій універсальній схемі елементів. І Деберайнер ніколи не зрозумів би всього цього без спочатку віри, а потім підтримки Гете.

Знову ж таки, через постійну підтримку Гете Деберайнер зробив свого покровителя ще більше схожим на генія, коли 1823 року винайшов першу портативну запальничку. Принцип дії базувався на цікавій здатності платини поглинати та зберігати величезну кількість горючого водню. В епоху, коли готування їжі та опалення все ще вимагали відкритого вогню, це виявилось незбагненим економічним благом. Запальничка, яку називали «лампа Деберайнера»,

насправді зробила його майже таким самим відомим у всьому світі, як Гете.

Тож навіть якщо Гете демонстрував погані успіхи у власній науковій роботі, його твори допомагали поширювати ідею про те, що наука благородна, а його покровительство штовхало хіміків до періодичної таблиці. Він заслуговує на принаймні почесну посаду в історії науки — що, зрештою, могло б його задовольнити. Прочитую самого Йоганна Вольфганга фон Гете, що таки був видатною особистістю (хай там що казав завідувач лабораторії!): «Історія науки — це сама наука».

Гете цінував інтелектуальну красу науки, а люди, які цінують красу в науці, схильні вбачати її в симетриях періодичної системи та подібних до Бахових повтореннях з варіаціями. Проте не вся краса таблиці є абстрактною. Система надихає на мистецтво в усіх видах. Золото, срібло та платина самі собою чудові, а інші елементи, як-от кадмій та бісмут, квітнуть яскравими барвистими пігментами в мінералах або олійних фарбах. Елементи відіграють важливу роль і в дизайні красивих повсякденних предметів. Нові сплави елементів часто надають витончену перевагу в міцності або гнучкості, що перетворює конструкцію з функціональної на феноменальну. А завдяки додаванню потрібного елемента, щось скромне, як-от авторучка, може досягти дизайну, котрий — якщо це звучить не надто безсоромно (а для деяких шанувальників пера це не так) — перебуває лише за кілька дюймів від величності*.

Наприкінці 1920-х легендарний угорський (а згодом і американський) дизайнер Ласло Могой-Надь проводив академічну різницю між «вимушеним моральним старінням» та «штучним моральним старінням». Вимушене старіння — це звичайний процес для технологій, груба їжа книжок з історії: соха поступилася місцем плугу, мушкет — кулемету Гатлінга, дерев'яні корпуси суден — сталевим. На відміну від цього, штучне старіння домінувало і все більше буде домінувати у ХХ столітті, стверджував Могой-Надь. Люди відмовлялися від споживчих товарів не тому, що вони були глибоко пенсійного віку, а тому, що в Джонсів з'явився новий, більш вишуканий дизайн. Могой-Надь — художник і щось на кшталт філософа дизайну — визначив штучне старіння як грубо матеріалістичний,

інфантильний та «моральний розпад». І хай як важко було в це повірити, скромне перо колись здавалося прикладом ненажерливої потреби людей у чомусь — чому завгодно — просунутому, і зараз все так само.

Кар'єра пера як чарівного кільця Фродо розпочалася 1923 року з однієї людини. У свої двадцять вісім років Кеннет Паркер переконав директорів сімейного бізнесу сконцентрувати гроші фірми на новому виробі, своїй розкішній ручці *Duofold*. (Він завбачливо дочекався, коли містер Паркер, його батько й великий бос, поїхав у довге морське плавання навколо Африки та Азії і не міг накласти на неї вето.) Десять років по тому, у найгірші дні Великої депресії, Паркер знову ризикнув, представивши ще одну високо-класну модель, *Vacumatic*. І буквально за кілька років після цього Паркер, на той час сам бос, знову відчув свербіж до ще новішого дизайну. Він прочитав і засвоїв теорію дизайну Могой-Надя, але замість дати волю моральному докору стосовно штучного старіння, Паркер побачив це дійсно по-американськи: шанс заробити багато грошей. Якщо люди можуть купити щось краще, вони куплять, навіть коли воно їм не потрібне. З цією метою 1941 року він представив те, що загал вважає найкращою ручкою в історії, — *Parker 51*, названу на знак того, скільки років працювала на ринку компанія *Parker Pen*, коли ця чудова і зовсім зайва модель з'явилась у магазинах.

Це була сама елегантність. Ковпачки були позолочені або хромо-вані, зі стрілкою із золотими пір'їнками для застібки ручки. Корпус був настільки ж пухким і спокусливим, щоб узяти його в руку, як сигарило, і мав кілька варіацій денді-кольорів: «блакитний кедр», «зелений Нассау», «какао», «слива» та «пристрасний червоний». Голова ручки, забарвлена в колір «індійський чорний», мала вигляд сором'язливої голови черепахи, яка звужувалася до гарного, каліграфічного стилю рота. І з цього рота виринали схоже на згорнутий язик крихітне золоте перо для подачі чорнила. У середині цієї бездоганної обгортки ручка працювала на нещодавно запатентованому пластику під назвою *Lucite* та нещодавно запатентованій циліндричній системі для доставки нещодавно запатентованого чорнила — чорнила, яке вперше за всю історію писання не висихало завдяки випаровуванню, перебуваючи на папері, а проникало у волокна паперу, миттєво висихаючи шляхом поглинання. Навіть

те, як кріпився ковпачок на корпусі ручки, захищали два патенти. Інженери Паркера дуже добре знали на своїй справі.

Єдиною родимкою цієї красуні був кінчик золотого пера — частина, яка насправді торкалася паперу. Золото — м'який метал — деформується суворим тертям під час письма. Спочатку Паркер закривав перо кільцем осмірідію, сплавом ірідію та осмію. Ці метали були досить жорсткими, але дефіцитними та дорогими — їх було складно імпортувати. Раптовий дефіцит або підвищення ціни могли приректи дизайн. Тож Паркер найняв металурга подалі від Єльського університету, щоби знайти заміну. Протягом року компанія подала заявку на ще один патент — на наконечник із рутенію, який до того часу був трохи кращим за брукт. Але зрештою це був кінчик пера, гідний решти дизайну, і рутеній почав закривати кожен *Parker 51* із 1944 року*.

Чесно кажучи, попри свою чудову інженерну техніку, *Parker 51*, мабуть, приблизно відповідала більшості ручок у своїй основній роботі — нанесенні чорнила на папір. Але, як міг передбачити пророк дизайну Могой-Надь, мода перемогла потребу. Зі своїм новим пером компанія за допомогою реклами переконала споживачів, що людські письмові знаряддя досягли свого апофеозу, і люди почали викидати попередні моделі *Parker*, щоби схопити цю. *Parker 51* — «найбільш бажана ручка у світі» стала символом статусу та єдиною, якою класичні банкіри, брокери та політики відтоді підписують чеки, рахунки в ресторанах та картки для гольфа. Навіть генерали Двайт Д. Айзенгавер і Дуглас Макартур скористалися нею, коли підписували договори, які 1945 року закінчили Другу світову війну в Європі та на Тихому океані. З такою рекламою та оптимізмом, що охопив світ після закінчення війни, обсяги продажу зросли з 440 тис. штук 1944 року до 2,1 млн 1947-го — дивовижний результат, ураховуючи, що «51» коштувала на той час від щонайменше 12,50 долара США до 50 доларів (сьогодні від 100 до 400 доларів), а багаторазовий чорнильний картридж і міцний рутенієвий наконечник означали, що таку ручку не доведеться замінювати.

Навіть Могой-Надь, хоча, мабуть, і засмучений тим, наскільки вдало його теорії перетворилися на маркетинг, звернув увагу на «51». Її рівновага в руці, її вигляд, її гладеньке («як по маслу») подавання чорнила — Могой-Надь ледь не знепритомнів і якось назвав це *ідеальним* дизайном. Він навіть працював консультантом у Пар-

кера, починаючи з 1944 року. Після цього десятки років ходили чутки, що Могой-Надь сам спроектував «51». Паркер продовжував продавати різні моделі до 1972 року і, хоча вони були вдвічі дорожчі за найдешевших конкурентів, і реалізував усі виготовлені до того моменту ручки, зібравши 400 млн доларів (сьогодні це відповідає кільком мільярдам).

Звичайно, невдовзі після того, як *Parker 51* зник, ринок високо-класних ручок почав стискатися. Причина цілком очевидна: хоча «51» процвітала завдяки тому, що її конкуренти здавалися неповноцінними, ручки поступово застарівали через новинки техніки, як от друкарська машинка. Але в цьому поглинанні є іронічна історія, яку потрібно розкопати і яка починається з Марка Твена й повертається до періодичної таблиці.

Побачивши демонстрацію друкарської машинки 1874 року, Твен побіг по гроші й попри економічну депресію у всьому світі купив її за несусвітню ціну 125 доларів (сьогодні 2400 доларів). Протягом тижня він писав на ній листи (усіма великими літерами; у неї не було нижнього регістру) про те, як мріє віддати її комусь: «ЦЕ ЗНААДТО РОЗРИВАЄ МІЗКИ»,— скаржився Твен.

Іноді важко відокремити справжні скарги Твена від його буркотливої натури, тож, можливо, він перебільшував. Але до 1875 року він віддав свою друкарську машинку й натомість вирішив перейти на нові авторучки від двох компаній. Його поклоніння дорогим ручкам ніколи не послаблялося, навіть коли потрібна була «королівська кількість проклять, щоби змусити цю річ (речі) писати». Вони не були *Parker 51*.

Проте Твен зробив більше, ніж хтось інший, щоби забезпечити кінцевий триумф друкарських машинок над ручками високого класу. 1883 року він подав у видавництво перший надрукований на машинці рукопис — «Життя на Міссісіпі» (текст Твен диктував секретарці, а не друкував). І коли компанія *Remington* попросила його схвалити її машинки (Твен неохоче таки купив собі іншу), він відмовився різким листом, який компанія все-таки надрукувала*. Навіть підтвердження, що Твен — мабуть, найпопулярніша персона в Америці — володіє такою машинкою, було достатнім схваленням.

Ці історії про прокльони ручок, які він любив, і використання друкарських машинок, які він ненавидів, підкреслюють суперечність Твена. Можливо, повна протилежність Гете в літературному сенсі, суто народний і демократичний Твен поділяв неоднозначне ставлення Гете до техніки. Американський письменник не мав претензій до занять наукою, але і він, і Гете, захоплені науковими відкриттями, водночас сумнівалися, що *Homo sapiens* має достатньо мудрості для правильного використання техніки. У Гете цей сумнів виявився як «Фауст». І Твен написав те, що ми могли б сьогодні визнати науковою фантастикою. Дійсно. На відміну від своїх чудових романів про пригоди на річкових судах, він писав короткі розповіді про винаходи, технології, антиутопії, подорожі в космосі та часі, навіть у своїй ошелешливій історії «Продано Сатані» про небезпеку періодичної системи.

Історія завдовжки у дві тисячі слів починається незабаром після гіпотетичного краху сталевих акцій близько 1904 року. Оповідач, не маючи змоги знайти гроші, вирішує продати свою безсмертну душу Мефістофелю. Щоб укласти угоду, вони із Сатаною зустрічаються опівночі в темному, безіменному лігві, випивають гарячого пуншу й обговорюють гнітюче скромну ціну на душі. Однак досить скоро вони відволікаються на незвичну рису анатомії Сатани — він повністю зроблений із радію.

За шість років до оповідання Твена Марія Кюрі вразила науковий світ своїми казками про радіоактивні елементи. То була справжня новина, але Твен, мабуть, був досить обізнаний у наукових справах, щоби додати всі зухвалі подробиці, як він це зробив у «Продано Сатані». Радіоактивність радію електрично заряджає повітря навколо, тому, на радість оповідача, Сатана світиться люмінесцентним зеленим кольором. Крім того, як теплокровна скеля, радій завжди гарячіший за оточення, оскільки радіоактивність нагріває його. Це тепло зростає в геометричній прогресії, оскільки більше радію концентрується разом. Як наслідок, цей персонаж масою під пів тонни при зрості в шість футів досить гарячий, щоби запалити сигару від кінчика пальця. (Однак він швидко відкладає її, щоби «зберегти для Вольтера». Почувши це, оповідач змушує Сатану взяти ще п'ятдесят сигар для, зокрема, Гете.)

Пізніше історія вдається до опису деяких подробиць переробки радіоактивних металів. Це далеко не найгостріша оповідь Твена.

Але, як і найкраща наукова фантастика, вона наділена передбаченням. Щоб уникнути спалення людей, з якими він стикається, Сатана з радієвим тілом носить захисний шар із полонію, ще одного нового елемента, відкритого Кюрі. З наукового погляду, це сміття: «прозора» оболонка полонію, «тонка, як желатинова плівка», ніколи не могла б утримати тепло критичної маси радію. Але ми пробачимо Твена, оскільки полоній служить більш драматичній меті. Це дає Сатані підставу погрожувати: «Якщо я зніму свою шкіру, світ зникне в спалаху полум'я і клубах диму, а залишки знищеного Місяця розпорочуться в космосі сніговим дощем із сірого попелу!»

Твен, як справжній Твен, не міг дозволити Сатані закінчити історію у владній позиції. Захоплене радієве тепло настільки інтенсивне, що персонаж незабаром із ненавмисною іронією визнає: «Я горю. Я страждаю всередині». Але облишмо жарти, Твен уже 1904 року здригався від думки про надзвичайну потужність атомної енергії. Якби він прожив ще сорок років, то, безсумнівно, похитав би головою — засмучений, але навряд чи здивований бачити, як люди жадають ядерних ракет, а не безмежної атомної енергії. На відміну від набігів Гете на сурову науку, історії Твена й досі є почальними.

Твен із розпачем оглядав нижню частину періодичної системи. Але з усіх казок про митців та елементи ніщо не здається ані сумнішим чи жорсткішим, ані більш фаустівським, ніж пригоди поета Роберта Лоуелла з одним із первинних елементів, літієм, що розташований на самому верху таблиці.

На початку 1930-х, коли всі вони були в молодшій підготовчій школі, друзі прозвали Лоуелла «Кел» на честь Келібана, виючого звіра-чоловіка в «Бурі» Шекспіра. Інші присягаються, що на таке прізвисько надихнув Калігула. У будь-якому разі, це ім'я відповідало поетові-сповіднику, який став прикладом божевільного художника — когось на кшталт ван Гога чи Едгара По, чий геній походить від частин психіки, до яких більшість із нас не може отримати доступу, а запрягати для художніх цілей і поготів. На жаль, Лоуелл не зміг стримати власне божевілля й поза рядками своїх віршів, і його безумство кровоточило протягом усього його реального життя. Якось він виявив, що бурмотить щось біля порога друга, переконаний, що

він (Лоуелл) — Діва Марія. Іншого разу, у Блумінгтоні, штат Індіана, він переконав себе, що може зупиняти машини на шосе, широко розставивши руки, як Ісус. На своїх заняттях він витрачав години, бурмочучи собі під ніс і переписуючи вірші стурбованих студентів у застарілому стилі Теннісона чи Мільтона. У віці дев'ятнадцяти років він покинув наречену і поїхав з Бостона в заміський будинок поета з Теннессі, котрий, як сподівався Лоуелл, буде його наставником. Він просто припустив, що чоловік прихистить його. Поет люб'язно пояснив, що в корчмі, так би мовити, не було місця, і пожартував, що Лоуеллу доведеться таборувати на галявині, якщо він хоче залишитися. Лоуелл кивнув і пішов — до крамниці *Sirs*. Він купив намет для щенят і повернувся, щоб улаштуватися без зручностей на травіці.

Літературна громадськість захоплювалась цими історіями, і протягом 1950-х і 1960-х Лоуелл був найвидатнішим поетом у США, вигравав премії та продавав тисячі примірників своїх книжок. Усі вважали, що відхилення Лоуелла були дотиком якоїсь божевільної музи. Фармацевтична психологія, галузь, яка набирала сили в ту епоху, мала інше пояснення: у Кела був хімічний дисбаланс, що робило його маніакально-депресивним. Громадськість бачила лише дику людину, а не його недієздатні чорні настрої — настрої, які змусили його зламатися духовно і все більше ламали фінансово. На щастя, перший справжній стабілізатор настрою, літій, прийшов до Сполучених Штатів 1967 року. Відчайдушний Лоуелл, який щойно потрапив до психіатричної палати, де лікарі вилучили в нього пояс і шнурки, погодився на медикаментозне лікування.

Цікаво, що за всієї своєї лікувальної здатності літій не виконує жодної нормальної біологічної ролі. Він не є важливим мінералом, як-от залізо чи магній, або навіть мікроелементом, як хром. Насправді чистий літій — це страшенно реактивний метал.

Як повідомляється, у людей загорялися кишені, якщо ключі або монети коротко замикали переносні літєві батареї, коли вони підтюпцем бігли вулицею. Також літій (який у своїй лікарській формі є сіллю, карбонатом літію) не працює так, як ми очікуємо від ліків. Ми приймаємо антибіотики в самий розпал інфекції, щоби вбити мікробів. Але прийом літію на піку манії або в каньйоні депресії не виправить епізоду. Літій лише заважає початку наступного епізоду. І хоча вчені знали про ефективність літію ще 1886 року, донедавна вони й гадки не мали, чому він працює.

Літій впливає на різні хімічні речовини в мозку, які змінюють настрій людини, і ці впливи досить складні. Найцікавіше, що літій, здається, відновлює, тобто скидає на початкові значення (*reset!*), циркадний ритм тіла, його внутрішні годинники. Звичайні люди істотно залежать від умов навколишнього середовища, особливо сонячним світлом, яке диктує настрій людини і визначають, коли вона стомиться і їй час закінчувати цей день. Вони живуть у 24-годинному циклі. Біполярні люди живуть у циклах, незалежних від світла: хоч день, хоч ніч — а ти своє роби. Коли вони почуваються добре, мозок заливає їх блискучими сонячними нейростимуляторами, і відсутність сонячного світла не перекриває цей кран. Деякі називають таке «патологічний ентузіазм»: цим людям ледь потрібен сон, і їхня самопевненість у собі набирає таких масштабів, що бостонський чоловік у ХХ столітті може повірити, ніби Святий Дух обрав його вмістилищем Ісуса Христа. Зрештою ці сплески виснажують мозок, і людина зазнає крах. Важкі маніакально-депресивні стани, коли людиною оволодівають «чорні пси», іноді вкладають її до ліжка на довгі тижні.

Літій регулює білки, які контролюють внутрішній годинник організму. Цей годинник, як не дивно, працює на ДНК, усередині особливих нейронів, глибоко в мозку. Особливі білки приєднуються до ДНК людини щоранку, за певний час вони розкладаються і відпадають. Сонячне світло знову і знову відновлює білки, тому вони тримаються набагато довше. Насправді білки відпадають лише після настання темряви — у цей момент мозок повинен «помітити» оголену ДНК і припинити виробляти стимулятори. Цей процес збігається з маніакально-депресивними станами, оскільки білки, попри відсутність сонячного світла, залишаються міцно прив'язаними до своєї ДНК. Мозок цих людей не усвідомлює, що час припинити активність. Літій допомагає відщеплювати білки від ДНК, щоб люди могли відпочити. Зверніть увагу, що сонячне світло все ще перевершує літій протягом дня і відновлює білки; лише коли сонячне світло зникає вночі, літій допомагає ДНК вивільнюватися. Тобто літій зовсім не є сонячним промінням у таблетках, а діє як «антисвітло». Неврологічно він відміняє сонячне світло і в такий спосіб стискає циркадні годинники до двадцяти чотирьох годин — запобігаючи як утворенню маніакального сплеску, так і падінню в депресію Чорного вівторка¹.

¹ Біржовий крах 1929 року, з якого почалася Велика депресія.— Прим. перекл.

Організм Лоуелла негайно відповів на літій. Особисте життя поета стало стійкішим (хоча аж ніяк не стабільним), і одного дня він заявив, що вилікувався. З нового, стабільного погляду, Лоуелл міг бачити, як його старе життя — сповнене бійок, запоїв та розлучень,— погубило стількох людей. Попри всі відверті та зворушливі рядки в його віршах, ніщо з колись написаного Лоуеллом не було таким гострим — і ніщо про тендітну хімію людей не було таким зворушливим,— як просте звернення до його видавця Роберта Жиру після того, як лікарі почали лікувати його літійем.

«Страшно думати, Бобе,— сказав він,— що всі страждання, яких я зазнав, і ті, котрі я заподіяв, могли виникнути через відсутність крихітки солі в мозку».

Лоуелл відчував, що його життя покращилося завдяки літію, проте вплив літію на його творчість був суперечливим. Як і Лоуелл, більшість митців вважають, що обмін маніакально-депресивного циклу на приглушений, прозаїчний циркадний ритм дозволяє їм продуктивно працювати, не відволікаючись на манію та не втрачаючи сил через депресію. Однак завжди існували суперечки щодо того, чи не страждає їхня робота після такого «лікування», після того, як вони втратили доступ до тієї частини психіки, яку більшість з нас ніколи не помічає.

Багато художників повідомляють, що на літії вони почуваються загальмовано або наче після транквілізатора. Один із друзів Лоуелла зазначив, що поет став схожий на тварину, яку водять зоопарком. І його поезія, безсумнівно, змінилася після 1967 року, ставши грубішою та навмисне менш відшліфованою. А ще він замість народжувати рядки у своєму буйному розумі, почав по-браконьєрськи тягти рядки з приватних листів, що обурювало людей, яких він цитував. Така робота принесла Лоуеллу Пулітцерівську премію 1974 року, але її погано сприймали — особливо порівняно з його жвавими роботами попередніх часів. Сьогодні її майже не читають. Попри все, на що періодична система надихала Гете, Твена та інших, літій Лоуелла може бути випадком, коли він забезпечував здоров'я, але придушував мистецтво, а божевільного генія робив просто людиною.

15

Елемент божевільля

^{34}Se 78.963	^{25}Mn 54.938	^{46}Pd 106.421	^{56}Ba 137.327	^{111}Rg (280)
----------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------

Роберт Лоуелл символізував божевільного художника, але в нашій колективній культурній психіці є ще один психологічний девіант: божевільний учений. Божевільні вчені періодичної системи загалом мали менше публічних спалахів, ніж божевільні художники, і вони зазвичай не вели горезвісного приватного життя. Їхні психологічні провали були витонченішими, а їхні помилки — типовими для своєрідного виду божевільля, відомого як патологічна наука*. Але захоплює те, як це хворобливе божевільля могло існувати в тому самому розумі поряд із блиском.

На відміну від практично кожного вченого, згаданого в цій книжці, Вільям Крукс, народжений 1832 року в Лондоні в родині кравця, ніколи не працював в університеті. Перший із шістнадцяти дітей, згодом він породив десять власних і підтримував свою величезну сім'ю, написавши популярну книжку про алмази та редагуючи розв'язний і повний пліток журнал про те, «а що там витворюють учені», зі скромною назвою «Хімічні новини». Попри це, Крукс — чоловік в окулярах, з бородою і гострими вусами — виконав достатньо наукових праць світового класу щодо елементів селен і талій, щоби лише в тридцять один рік бути обраним до провідного наукового клубу Англії — Королівського товариства. А за десять років його мало не вигнали.

Падіння Крукса почалося 1867 року, коли його брат Філіп помер у морі*.

Попри чи, можливо, через велику чисельність їхньої сім'ї, Вільям та інші Крукси мало не збожеволіли від горя. На той час спиритизм, рух, імпортований з Америки, охоплював дома як аристократів, так і крамарів по всій Англії. Навіть сам сер Артур Конан-Дойл, який винайшов гіперраціонального детектива Шерлока Голмса, міг знайти у своїй місткій свідомості місце, щоби сприйняти спиритизм за істину. Продукти свого часу, представники клану Круксів — переважно торговці, які не мали ані наукової підготовки, ані інстинкту,— почали всі разом відвідувати сеанси, щоб утішитися та поспілкуватися з бідним заглибленим Філіпом.

Не зрозуміло, чому однієї ночі Вільям причепився до них. Можливо, із солідарності. Чи тому, що інший брат був помічником медіума. Можливо, щоби переконати родичів не ходити на такі збіговиська — приватно, у своєму щоденнику, він відкинув такий духовний «контакт» як показушне шахрайство. Проте, спостерігаючи, як медіум грає на акордеоні без рук і пише «автоматичні повідомлення», скептик був проти волі вражений дошкою Уїджа зі стилусом і планшеткою. Його захист було зруйновано, і, коли медіум почав передавати балакливі повідомлення від Філіпа з великого Потойбіччя, Вільям заривав. Він ходив на наступні сесії і навіть винайшов науковий пристрій для спостереження за шепотінням блукаючих духів в освітлених свічками кімнатах. Незрозуміло, чи насправді його новий радіометр — вакуумована скляна колба з дуже чутливим флюгером усередині — виявив Філіпа. (Ми можемо лише здогадуватися.) Але Вільям не міг відкинути те, що він відчував, тримаючись за руки із членами родини на сеансах. Його відвідування стали регулярними.

Такі схильності зробили Крукса меншістю серед його колега-раціоналістів у Королівському товаристві — імовірно, одноосібною меншістю. Пам'ятаючи про це, Крукс приховував свої упередження 1870 року, коли оголосив, що проводить наукове дослідження спиритизму, і більшість членів Королівського товариства були в захваті, припускаючи, що він розвінчає це шахрайство у своєму скандальному журналі. Але не все вийшло так гладенько. Після трьох років співів та викликань, 1874 року Крукс опублікував «Записки про розслідування явищ, що називаються спиритизм» у власному виданні «Щоквартальний науковий журнал». Він порівняв себе

з мандрівником в екзотичних країнах, Марко Поло паранормальних явищ. Але замість атакувати всі спіритичні витівки — «левітацію», «фантоми», «перкуторні звуки», «світлові з'явиська», «піднесення столів і стільців над землею», — він дійшов висновку, що ані шарлатанство, ані масовий гіпноз не можуть пояснити (або принаймні повністю пояснити) усе, що він бачив. Це не було некритичним схваленням, але Крукс стверджував, що знайшов «залишок» законних надприродних сил*.

Навіть така холодна підтримка з боку Крукса шокувала всіх в Англії, зокрема спіритистів. Швидко оговтавшись, вони почали співати Круксові осану з гірських вершин. Навіть сьогодні останні мисливці за привидами витягують його скрипучий папір як «доказ» того, що розумні люди прийдуть до спіритизму, якщо підйдуть до нього з відкритим розумом. Колеги Крукса з Королівського товариства були однаково здивовані, але радше ошелешені. Вони стверджували, що Крукс був засліплений салонними фокусами, охоплений динамікою натовпу і зачарований харизматичними гуру. Вони також обідрали сумнівне наукоподібне облицювання, яким він прикрив доповідь. Наприклад, Крукс записав неістотні «дані» про температуру та барометричний тиск у лігві медіума, ніби нематеріальні істоти не висунуть голови в погану погоду. Ще неприємніше, колишні друзі напали на особистість Крукса, називаючи його то селюком, то засланим козачком. Якщо спіритисти іноді цитують Крукса сьогодні, деякі вчені все ще не можуть пробачити йому, що він зробив можливими 135 років брехні «Нового віку». Вони навіть називають його роботу над елементами як доказ того, що він збожеволів.

Розумієте, ще змолоду Крукс був піонером вивчення селену. Хоча селен є важливим мікроелементом для всіх тварин (виснаження селену в крові хворих на СНІД людей є фатально точним передвісником смерті), у великих дозах він токсичний. Це добре знають власники ранчо. Якщо уважно не стежити за великою рогатою худобою, вона винищуватиме прерійну рослину з родини бобових, відому як гострокільник, деякі різновиди якого висмоктують селен із ґрунту наче губка. Велика рогата худоба, яка наїдається такої соковитої травиці, починає хитатися і спотикатися, у неї розвиваються лихоманка, виразки та анорексія — сукупність симптомів, відомих як «сліпе хитання». І все ж вони насолоджуються кайфом. Найпевнішою ознакою того, що селен насправді затьмарює розум тварин, є те, що залежна

від «божевільної травиці» велика рогата худоба, попри жахливі побічні ефекти, жере саме її. Це тваринний метамфетамін. Деякі історики з надмірно розвиненою уявою навіть пояснюють поразку Кастера в битві при Літл-Бігхорні тим, що його коні наїлися цієї трави перед бойовищем. Загалом доречно, що «селен» — грецька назва Місяця — через латинську назву, *Luna*, має зв'язки з лунатизмом та лунатиками.

Беручи до уваги таку токсичність, можливо, має сенс заднім числом звинуватити селен в оманах Крукса. Однак деякі незручні факти підривають цей діагноз. Найчастіше селен атакує протягом тижня; Крукс став тупіти на початку середнього віку, за багато часу після того, як покинув працювати із селеном. Крім того, після десятиліть проклять скотарів стосовно тридцять четвертого елемента щоразу, коли корова спіткнулася, багато біохіміків зараз вважають, що інші хімічні речовини, які містяться в цій траві, так само сприяють божевіллю та сп'янінню. Урешті-решт, вирішальна підказка: борода Крукса ніколи не випадала — а то ж класичний симптом селенозу.

Повноцінна борода також виступає проти того, що його звів з розуму, як припускають деякі, інший депілятор періодичної таблиці — отрута отруювача, талій. Крукс відкрив талій у віці двадцяти шести років (знахідка, яка майже забезпечила його обрання до Королівського товариства) і продовжував гратися з ним у своїй лабораторії протягом десяти років. Але він, мабуть, ніколи не вдихав стільки, щоб утратити хоча б вуса. Крім того, чи може хтось, розбещений талієм (або селеном), зберегти до старості такий гострий розум? Крукс фактично вийшов зі спіритичних кіл після 1874 року, знов присвятивши себе науці, і попереду на нього чекали великі відкриття. Він перший припустив існування ізотопів. Він створив нове життєво важливе наукове обладнання та підтвердив наявність гелію в гірських породах, що було першим виявленням цього газу на землі. 1897 року новоспечений сер Вільям занурився в радіоактивність, навіть виявивши 1900 року (щоправда, не усвідомлюючи) елемент протактиній.

Тож найкращим поясненням занурення Крукса в спирітизм є психологічне: убитий горем через загибель свого брата, він удався до патологічної науки.

Пояснюючи, що таке патологічна наука, найкраще прояснити будь-які помилкові уявлення про це навантажене слово «патологічна» і задалегідь з'ясувати, чим не є патологічна наука. Це не шахрайство,

оскільки прихильники патологічної науки вважають, що вони мають рацію — якби тільки всі інші могли це побачити. Це не псевдонаука, як фрейдизм та марксизм, сфери, які претендують називатися науками, проте уникають суворості наукового методу. Це також не політизована наука, як учення Лисенка, коли люди присягають на вірність фальшивій науці через загрози або перекручену ідеологію. Нарешті, це не загальноклінічне божевілля чи просто розбещена віра. Це особливе божевілля, прискіплива та науково обґрунтована омана. Патологічні вчені виділяють маргінальне і малоймовірне явище, яке приваблює їх з будь-якої причини, і застосовують усю свою наукову хватку для підтвердження його існування. Але гру сфальсифіковано від самого початку: їхня наука служить лише глибшій емоційній потребі у щось вірити. Спиритизм сам собою не є патологічною наукою, але став таким у руках Крукса через ретельні «експерименти» та наукове обґрунтування їхніх результатів.

Але насправді патологічна наука не завжди впливає з маргінальних сфер. Вона процвітає і в законних, але спекулятивних сферах, де даних та доказів мало і їх важко інтерпретувати. Наприклад, галузь палеонтології, що реконструює динозаврів та інших вимерлих істот, забезпечує ще одне чудове дослідження в патологічній науці.

На якомусь рівні, звичайно, ми не знаємо нічого про вимерлих істот: цілий скелет — рідкісна знахідка, а відбитки від м'яких тканин ще набагато рідкісніше. Жарт людей, що реконструюють палеофауну, полягає в тому, що якби слони вже давно вимерли, той, хто сьогодні викопав би скелет мамонта, уявив би собі гігантського хом'яка із бивнями, а не шерстисту товстошкіру тварину з хоботом. Ми б так само мало знали про красу й гордість інших тварин — смуги, ходу, губи, черева, пупки, морди, глотки, чотирикамерні шлунки, горби, не кажучи вже про їхні брови, сідниці, нігті на ногах, щоки, язики та соски. Проте, порівнюючи борозенки і западини на скам'янілих кістках з кістками сучасних істот, досвідчене око може з'ясувати мускулатуру, енергію, розмір, ходу, зубний ряд і навіть шлюбні звички вимерлих видів. Палеонтологам просто слід бути обережними щодо надмірної екстраполяції.

Патологічна наука користується цією обережністю. Її прибічники переважно використовують неоднозначність доказів як доказ — стверджуючи, що вчені не все знають, а отже, є місце і для моєї теорії домашніх тварин. Саме це сталося з манганом та мегалодоном*.

Ця історія починається 1873 року, коли дослідницький корабель Її Величності «Челенджер» вирушив з Англії на дослідження Тихого океану. Екіпаж скинув за борт величезні відра, прив'язані до мотузок завдовжки три милі,— дивовижно примітивна технологія! — і протраливі океанське дно. Крім фантастичних риб та інших істот, вони витягли кільканадцять десятків кулястих каменів у формі скам'янілої картоплі, а також жирних, твердих, мінералізованих конусів морозива. Ці шматки, переважно манганові, з'являлися по всьому морському дну в кожній частині океану, тобто по всьому світу їх мало бути незліченні мільярди.

Це був перший сюрприз. Другий відбувся, коли екіпаж розколов конуси: манган сформувався навколо гігантських акул'ячих зубів. Найбільші аномально жахливі зуби сучасних акул мають завбільшки приблизно шість з половиною сантиметрів. Покриті марганцем зуби перевищували дванадцять сантиметрів — ікла, здатні трощити кістки, наче сокира. За допомогою тих самих основних методів, що використовувалися для скам'янілостей динозаврів, палеонтологи встановили (за одними лише зубами!), що цей монстр, якого охрестили «мегалодон», виростав приблизно до п'ятнадцяти метрів, важив приблизно п'ятдесят тонн і міг плавати зі швидкістю приблизно вісімдесят кілометрів за годину. Імовірно, він міг стуляти щелепи (із 250 зубами!) із мегатонною силою і харчувався переважно первісними китами в мілководних тропічних водах. Вірогідно, ця акула вимерла, оскільки її здобич постійно мігрувала в більш холодні й глибокі води — середовище, яке не відповідало її високому метаболізму та ненажерливому апетиту.

Поки що все це прекрасна наука. Патологія розпочалася з мангану*. Акул'ячі зуби засмічують дно океану, оскільки йдеться про найтвердішу відому біологічну речовину, єдину частину акул'ячих каркасів, яка витримує надвисокий тиск води на глибині океану (більшість акул мають хрящові скелети). Незрозуміло, чому з усіх розчинених в океані металів саме манган обволікає акул'ячі зуби, але вчені приблизно знають, як швидко він накопичується: від половини до півтора міліметра за тисячоліття. За цією швидкістю вони визначили, що переважна більшість цих зубів датується щонайменше 1,5 млн років тому, тобто мегалодони, імовірно, вимерли приблизно тоді.

Але — і ось провалля, у яке кинулись деякі люди,— у певній кількості мегалодонових зубів був таємничо тонкий мангановий наліт

віком приблизно одинадцять тисяч років. Еволюційно це жахливо короткий час. І справді, хто сказав, що вчені от-от не знайдуть зуб віком десять тисяч років? Або вісім тисяч років? Або ще менше?

Ви бачите, куди веде це мислення. У 1960-х кілька ентузіастів з уявленнями, наче з «Парку Юрського періоду», були майже впевнені, що в океанах усе ще ховаються мегалодони-відщепенці. «Мегалодон живий!» — горлали вони. І, як чутки про «Зону 51» чи вбивство Кеннеді, ця легенда так ніколи цілком не вмерла. Найпоширеніша казка твердить, що мегалодони перетворилися на глибоководних дайверів і зараз проводять свої дні, борючись із кракенами в чорних глибинах. Мегалодони, що нагадують фантоми Крукса, *мають бути* невлотимими, що дає людям зручний вихід, коли на них тиснуть запитанням, чому гігантських акул у наш час так мало.

Напевно, немає живої людини, яка б у глибині душі не сподівалася, що мегалодони все ще рискають морями. На жаль, ідея руйнується під пильною увагою. Крім усього іншого, зуби з тонкими шарами мангану майже напевно було вирвано зі старої породи під океанічним дном (де вони не накопичували мангану) і піддано дії води лише нещодавно. Імовірно, вони набагато старші за одинадцять тисяч років. І хоча є повідомлення очевидців цих чудовиськ, та всі вони від моряків, горезвісних казкарів, і мегалодони в їхніх історіях маніакально відрізняються за розміром і формою. Одна цілком біла акула на кшталт Мобі Діка простягнулася аж на сотню метрів завдовжки! (Хоча смішно, що ніхто не здогадався сфотографувати.) Загалом, такі історії, як і свідчення Крукса про надприродних істот, залежать від суб'єктивних інтерпретацій, і без об'єктивних доказів неможливо зробити висновок, що мегалодони, хоча б кілька з них, прослизнули крізь еволюційні пастки.

Але те, що насправді робить постійне полювання на мегалодонів патологічним, полягає в тому, що сумніви в істеблішменті лише поглиблюють переконання людей. Замість спростування манганових знахідок вони контратакують героїчними розповідями про заколотників, негідників, які в минулому не раз доводили, що ці зашкарублі вчені помиляються. Вони незмінно пригадують целаканта, примітивну глибоководну рибу, яку колись уважали вимерлою вісімдесят мільйонів років тому, аж поки 1938 року вона не опинилася на рибному ринку в Південній Африці. Згідно з цією логікою, оскільки вчені помилялися щодо целаканта, вони можуть

помиляться і щодо мегалодона. А «можуть» — це все, що потрібно цим людям. Адже їхні теорії про його виживання базуються не на перевазі доказів, а на емоційній прихильності: надії, необхідності, щоби щось фантастичне було справжнім.

Напевно, немає кращого прикладу подібних емоцій, ніж у наступному тематичному дослідженні — тієї великої патологічної науки, тієї місії Аламо для справжніх послідовників, тієї спокусниці футуристів, тієї наукової гідри — холодного термоядерного синтезу.

Понс і Флейшман. Флейшман і Понс. Це мав бути найбільший науковий дует від часів Вотсона та Кріка, можливо, навіть чимось на кшталт Марії та П'єра Кюрі. Натомість їхня слава згнила у ганьбі. Тепер імена Б. Стенлі Понса та Мартіна Флейшмана викликають лише думки про самозванців, шахраїв та ошуканців — хоч і несправедливо.

Експеримент, який створив і зруйнував кар'єру Понса і Флейшмана, був, так би мовити, оманливо простим. Два хіміки в Університеті Юти 1989 року помістили паладієвий електрод у камеру з важкою водою та увімкнули струм. Протікання струму крізь звичайну воду буде розбивати H_2O й утворювати газоподібні водень та кисень. Щось подібне трапилось у важкій воді, за винятком того, що водень у важкій воді має додатковий нейтрон. Отже, замість звичайного водневого газу (H_2) із двома протонами Понс і Флейшман створили молекули газоподібного водню з двома протонами та двома нейтронами.

Особливістю експерименту стала комбінація важкого водню з паладієм, білуватим металом, що має одну захопливу властивість: він може поглинути газоподібного водню в дев'ятсот разів більше власного об'єму. Це приблизно еквівалентно тому, що 250-фунтовий (113-кілограмовий) чоловік проковтне дюжину африканських слонів-самців* і не набере ані дюйма на талії. І коли електрод із паладію почав упаковуватись у важкій воді у водень, показники термометрів та інших приладів Понса та Флейшмана різко підскочили. Вода стала набагато теплішою, ніж могла б, ураховуючи мізерну енергію вхідного струму. Понс повідомив, що під час одного справді хорошого стрибка його перегріта H_2O пропала склянку, стіл, лабораторну лавку під ним та бетонну підлогу під лавкою.

Або принаймні вони іноді отримували такі стрибки. Загалом експеримент був нестабільним, і однакові налаштування та пробні

запуски не завжди давали однакові результати. Але замість точно описати те, що відбувалося з паладієм, двоє чоловіків дозволили своїм фантазіям переконати їх, що вони виявили холодний термоядерний синтез — синтез, який не вимагав неймовірних зоряних температур і тисків, але відбувався за кімнатної температури. Оскільки паладій міг умістити стільки важкого водню, дослідники здогадалися, що він в якийсь спосіб сплавив ці протони та нейтрони в гелій, виділяючи в процесі величезну кількість енергії.

Понс та Флейшман досить необачно скликали прес-конференцію, щоб оголосити про свої результати, переважно маючи на увазі, що світові енергетичні проблеми закінчилися дешево і без забруднення. І, як сам паладій, ЗМІ проковтнули грандіозне твердження. (Незабаром виявилось, що інший мешканець Юти, фізик Стівен Джонс, проводив подібні експерименти синтезу. Однак Джонс відступив на другий план, оскільки він озвучив більш скромні претензії.) Понс і Флейшман миттєво стали знаменитостями, і імпульс громадської думки, схоже, коливав навіть учених. Незабаром після оголошення дует привітали стоячи бурхливою овацією на засіданні Американського хімічного товариства.

Але тут є деякий важливий контекст. Аплодуючи Флейшману та Понсу, багато вчених, мабуть, справді думали про надпровідники. До 1986 року вважалося, що надпровідність неможливо отримати за температури вище $-400\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-240\text{ }^{\circ}\text{C}$). Несподівано два німецькі дослідники — які за рекордний час, за рік, отримали Нобелівську премію — виявили надпровідники, що працювали вище цієї температури. Інші команди також активізувались і протягом декількох місяців виявили «високотемпературні» ітрієві надпровідники, які працювали за температури $-280\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-173\text{ }^{\circ}\text{C}$). Рекорд сьогодні становить $-218\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-139\text{ }^{\circ}\text{C}$). Річ у тім, що багато вчених, які передбачали неможливість таких надпровідників, почувалися віслюками. Це був фізичний еквівалент знахідки целаканта як і романтики мегалодона, любителі холодного синтезу в 1989 році могли вказувати на недавнє надпровідникове шаленство і змусити вчених, що зазвичай зневажали такі відомості, притримати вироки на потім. І справді, фанатики холодного термояду, здавалося, утратили голову через шанс повалити давню догму — така гарячка характерна для патологічної науки.

Проте деякі скептики, особливо в Каліфорнійському технологічному інституті, кипіли. Холодний синтез засмутив наукову чутли-

вість цих чоловіків, а зарозумілість Понса та Флейшмана — їхню скромність. Ці двоє обійшли звичайний процес рецензування, оголошуючи результати, і деякі вважали їх шарлатанами, котрі мають намір збагатитися, особливо після того, як вони звернулися безпосередньо до президента Джорджа Буша-старшого по 25 млн доларів для безпосередніх дослідницьких фондів.

Понс і Флейшман не допомогли справі, відмовившись відповісти — ніби такі запитання були образливими — про свій паладієвий апарат та протокол експериментів. Вони стверджували, що не хочуть, аби їхні ідеї крали, але насправді здавалося, ніби вони щось приховували.

Проте дедалі скептичніші вчені у всьому світі (за винятком Італії, де з'явилося чергове твердження про холодний синтез) дізналися достатньо з того, що сказали обидва чоловіки, щоби влаштувати власні експерименти з паладієм та важкою водою, і почали знищувати вчених з Юти своїми нульовими результатами. За кілька тижнів, після, мабуть, найбільш узгоджених від часів Галілея зусиль з метою дискредитувати (навіть зганьбити) учених, сотні хіміків та фізиків провели в Балтиморі мітинг проти Понса і Флейшмана. Вони збентежено показували, що дує припустився експериментальних помилок та використовував помилкові методи вимірювання. Один учений висловив думку, що вони дозволили газоподібному водню накопичуватися і що їхніми найбільшими стрибками «синтезу» були хімічні вибухи, як колись це сталося із дирижаблем «Гінденбург». (Імовірний пік термоядерного синтезу, який пропалив діри в столі та лавці, стався вночі, коли нікого не було поруч.) Зазвичай потрібні роки, щоби виправити наукову помилку або принаймні вирішити спірне питання, але холодний синтез зробився холодним і мертвим протягом сорока днів від моменту першого оголошення. Один жартівник, який брав участь у конференції, підсумував сенсацію уїдлигим віршиком:

*На кону мільйони баксів, або більше,
Бо хтось градусник поставив в місце інше.*

Але психологічно цікаві частини справи ще були попереду. Потрібно вірити в чисту, дешеву енергію для всього світу виявилася настільки чіпкою, що люди не могли так швидко заспокоїтися.

На цьому етапі наука мутувала в щось патологічне. Як і у випадку з розслідуванням паранормального явища, залишалося незрозуміло, чому лише гуру (медіум або Флейшман та Понс) і лише за особливих обставин мав силу дати ключові результати. Це не відклало проблеми, а насправді лише заохочувало ентузіастів холодного синтезу. Зі свого боку Понс і Флейшман ніколи не відступали, і їхні послідовники захищали цих двох (не кажучи вже про них самих) як важливих повстанців, єдиних людей, котрі *отримали це*. Деякі критики протистояли власними експериментами певний час після 1989 року, але «холодні синтезисти» завжди опонували будь-яким убивчим результатам, іноді навіть із більшою винахідливістю, ніж вони показували у своїх оригінальних наукових роботах. Тож критики зрештою здалися. Девід Гудштейн, фізик із Каліфорнійського технологічного, зробив підсумки в чудовому нарисі про холодний синтез: «Оскільки “холодні синтезисти” сприймають себе як спільноту, котра перебуває в облозі, внутрішня критика є малою. Експерименти та теорії зазвичай приймаються на віру через страх дати ще більше пального для зовнішніх критиків, якщо хтось поза групою потурбується слухати. За цих обставин процвітають психи-фантазери, погіршуючи ситуацію для тих, хто вважає, що тут існує серйозна наука». Важко уявити кращий і стисліший опис патологічної науки*.

Найбільш милосердне пояснення того, що сталося з Понсом та Флейшманом, полягає ось у чому. Здається малоімовірним, що це були шарлатани, які знали, що холодний синтез — це нісенітниця, але бажали швидкого успіху. Це був не 1789 рік, коли вони могли просто втекти та дурити селяків у сусідньому містечку. Вони знали, що їх будуть ловити. Можливо, вони мали сумніви, але були засліплені честолюбством і хотіли побачити, як це — почуватися переможцем в очах світу хоча б мить. Однак, можливо, цих двох чоловіків просто ввела в оману дивна властивість паладію. Навіть сьогодні ніхто не знає, як паладій зжирає стільки водню. Як невеличку реабілітацію робіт Понса і Флейшмана (хоча і не їхньої інтерпретації) додаю: деякі вчені вважають, що в експериментах з важкою водою й паладієм відбувається щось смішне. У металі з'являються дивні бульбашки, а його атоми переорієнтуються по-новому. Можливо, задіяні навіть деякі слабкі ядерні сили. До їхньої честі, Понс і Флейшман стали піонерами цієї роботи. Просто вони увійшли в історію науки не так, як хотіли.

Звичайно, не кожен учений із відтінком божевілля потопає в патологічній науці. Деякі, як Крукс, рятуються й продовжують робити велику справу. А ще є рідкісні випадки, коли те, що від початку здається патологічною наукою, виявляється справжнім. Вільгельм Рентген що було сили намагався довести свою помилку, коли йшов слідом радикального відкриття про невидимі промені, але не зміг. І завдяки своїй наполегливості та дотриманню наукового методу цей не найгеніальніший науковець справді переписав історію.

У листопаді 1895 року Рентген бавився у своїй лабораторії в Центральній Німеччині з трубкою Крукса, важливим новим інструментом для вивчення субатомних явищ. Названа на честь винахідника, ви знаєте кого, трубка Крукса складалася з вакуумованої скляної колби з двома металевими пластинами всередині з обох кінців. Проходження струму між пластинами призводило до того, що промінь стрибав крізь вакуум — тріск, спалах світла, як щось із лабораторії спеціальних ефектів. Зараз учені знають, що це пучок електронів, але 1895 року Рентген та інші намагалися це зрозуміти.

Колега Рентгена виявив, що коли він робив трубку Крукса з невеликим вікном з алюмінієвої фольги (нагадує центр титанового вікна, яке Пер-Інгвар Бренемарк згодом приварив до кісток кроликів), промінь проходив крізь фольгу в повітря. Він досить швидко згасав — повітря було для променя як отрута, — але міг засвітити фосфоресцентний екран на відстані кількох дюймів. Трохи невротично Рентген наполягав на повторенні всіх експериментів своїх колег, хай якими незначними вони були, тому 1895 року він сам побудував цю установку, але з деякими змінами. Замість залишити трубку Крукса голою, він накрив її чорним папером, щоби промінь виходив лише крізь фольгу. І замість хімікатів, що фосфоресціюють, які використовував його колега, він пофарбував свої пластини люмінесцентною сполукою барію.

Повідомлення про те, що сталося далі, різняться. Коли Рентген проводив деякі випробування, переконуючись, що його промінь правильно стрибав між пластинами, щось привернуло його увагу. У більшості звітів кажуть, що це був шматок картону, покритий барієм, який він поставив на сусідньому столі. Інші відомості сучасників кажуть, що це папірець, на якому студент грайливо намалював пальцем, вимоченим у барії, літеру А або S. Попри це Рентген, який був дальтоніком, спочатку побачив би просто танець білого на

краю його поля зору. Але щоразу, коли він вмикав струм, барієва пластина (або літера) світилася.

Рентген упевнився, що із зачорненої трубки Крукса не витікало світло. Він сидів у темній лабораторії, тому сонячний промінь теж не міг викликати жодної іскри. Але він також знав, що промені Крукса не можуть вижити достатньо довго в повітрі, щоби перестрибнути на табличку або папірець. Пізніше він зізнався, що думав, ніби галюцинує,— причиною, очевидно, була трубка, але він не знав нічого, що могло б пройти крізь непрозорий чорний папір.

Тож він установив покритий барієм екран і поклав біля трубки найближчий предмет, якусь книжку, щоби перекрити промінь. Рентген одночасно відчув жах і захоплення, коли на екрані з'явився контур ключа, який він використав як закладку. Він міг якось *бачити крізь речі*. Він випробовував предмети в закритих дерев'яних ящиках і теж бачив їх. Але справді моторошний, справді момент чорної магії настав, коли він, тримаючи металеву пробку, і побачив кістки власної руки. На цей момент Рентген виключив з переліку причин галюцинації. Він припустив, що повністю з'їхав з глузду.

Сьогодні ми можемо сміятися з того, що він так надмірно попрацював над відкриттям рентгенівських променів. Але зверніть увагу на його чудову поведінку. Замість переходити до зручного висновку, що він відкрив щось радикально нове, Рентген припустив, що десь помилився. Збентежений і рішуче налаштований довести, що помиляється, він замкнувся у своїй лабораторії, ізолювавшись на сім невгамовних тижнів у своїй печері. Він звільнив своїх асистентів та з невдоволенням їв, ковтаючи їжу, і більше бурчав, ніж розмовляв із родиною. На відміну від Крукса, мисливців на мегалодонів або Понса та Флейшмана, Рентген героїчно працював, щоби поєднати свої знахідки з відомою фізикою. Він не хотів бути революціонером.

За іронією долі, хоча він робив усе, щоби відійти від патологічної науки, статті Рентгена показують, що він не міг відмовитися від думки, що з'їхав з глузду. Ба більше, його бурмотіння та нехарактерний настрій змушували інших людей ставити під сумнів його нормальність. Він жартома сказав своїй дружині Берті: «Я роблю роботу, яка змусить людей говорити: "Старий Рентген збожеволів!"». Тоді йому було п'ятдесят, і вона, мабуть, дивувалася.

Проте трубка Крукса щоразу запалювала барієві пластини, хоч би як Рентген сумнівався. Тож він розпочав документування

цього явища. Знову ж таки, на відміну від трьох вищезгаданих патологічних випадків, Рентген відкидав будь-які швидкоплинні або непостійні наслідки, усе, що можна було б уважати суб'єктивним. Він шукав лише об'єктивні результати, як-от проявлені фотопластинки. Урешті-решт, трохи впевнившись, він якось привів Бертю до лабораторії та піддав її руку рентгенівським променям. Побачивши свої кістки, вона злякалася, гадаючи, що це передчуття її смерті. Після цього вона відмовилася повертатися до його примарної лабораторії, але її реакція принесла Рентгену безмежне полегшення. Можливо, найбільш сповнений любові вчинок, що хоч колись зробила для нього Берта, це доказ, що йому нічого не примарилося.

Того дня Рентген вийшов зі своєї лабораторії виснаженим та повідомив своїх колег по всій Європі про «рентгенівські промені». Природно, вони знущалися з нього, так само, як колись із Крукса, а пізніше — з мегалодона та холодного синтезу.

Але Рентген був терплячим і скромним, і щоразу, коли хтось заперечував, він казав, що вже досліджував таку можливість, і робив так, поки в його колег не закінчувалися заперечення. І в цьому полягає піднесена сторона звично тяжких історій патологічної науки.

Учені можуть жорстоко ставитися до нових ідей. Можна собі уявити, як вони запитують: «Що за “таємничі промені”, які можуть непомітно пролітати крізь чорний папір, Вільгельме, і запалювати кістки у вашому тілі, га?!» Але коли він відбивався твердими доказами, повторюваними експериментами, більшість позбувалася своїх старих ідей, щоби прийняти його. Попри те, що Рентген усе життя був професором середнього рівня, він став героєм кожного вченого. 1901 року він став лауреатом Нобелівської премії з фізики. За два десятиліття фізик на ім'я Генрі Мозлі використав ту саму базову рентгенівську установку, щоби здійснити революцію у вивченні періодичної системи. І люди все ще були настільки вражені століттям пізніше, що 2004 року найбільш офіційний елемент періодичної таблиці на той час, номер 111, який давно називали унуніум, перейменували на рентгеній.

Sn Nd Rb Xe
Ar Ca Sm Mg
H Ca Rn Kr
Pt

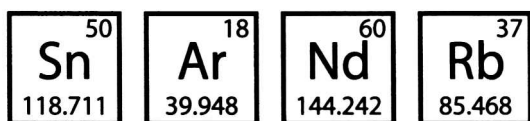
Частина V

НАУКА ПРО ЕЛЕМЕНТИ СЬОГОДНІ ТА ЗАВТРА

Fr Xe Fm
Rf Ca Zr Cr
Sn U Ac Cs
At Es Nd In

16

Шлях хімії, шлях нижче нуля



Рентген не лише продемонстрував приклад блискучої педантичної науки; він також нагадав ученим, що періодична система постійно пропонувала сюрпризи. Завжди є щось нове про елементи, що можна відкрити навіть сьогодні. Але більшість легких знахідок уже було зроблено до часів Рентгена, а для нових відкриттів потрібні були радикальні заходи. Ученим доводилося досліджувати хімічну стихію у все жорстокіших умовах, особливо в умовах екстремального холоду, що гіпнотизує елементи й підштовхує їх до дивної поведінки. Надзвичайний холод не завжди віщує добре людям, які все одно роблять відкриття. Хоча новоявлені спадкоємці Льюїса та Кларка до 1911 року дослідили більшу частину Антарктиди, жодна людина ще не досягала Південного полюса. Це неминуче призвело до епічної гонки серед дослідників, які мріяли дістатися туди першими,— що так само неминуче призвело до похмурої розповіді про те, що може піти не так з хімією за екстремальних температур.

Той рік був холодним навіть за мірками Антарктики, проте група блідих англійців на чолі з Робертом Фолконом Скоттом таки вирішила, що вони першими досягнуть дев'яноста градусів південної широти. Дослідники організували своїх собак та припаси, і караван вирушив у дорогу в листопаді. Більшу частину каравану складала команда підтримки, яка спритно робила схованки з їжею та пали-

вом, щоби маленька фінальна команда, яка прямувала до полюса, могла забрати їх на зворотному шляху.

Потроху все більша частина каравану відсівалася, і нарешті, просуваючись місяцями пішки, п'ятеро чоловіків на чолі зі Скоттом прибули на полюс у січні 1912 року — лише для того, щоби знайти коричневий намет для цуценят, норвезький прапор і вкрай прикрий дружній лист. Скотт програв Руалю Амундсену, команда якого прибула місяцем раніше. Скотт коротко описав цей момент у своєму щоденнику: «Сталося найгірше. Усі мрії повинні піти». І незабаром після цього: «Великий Боже! Це жахливе місце. Тепер біг додому та відчайдушна боротьба. Хотів би я знати, чи зможемо ми це зробити».

Для пригнічених людей Скотта зворотний шлях у будь-якому разі був би тяжким, але Антарктида кинула все, що могла, щоби покарати та вимучити їх. Тижні за тижнями люті вітри заносили дослідників сніговими хвилями, а їхні щоденники (знайдені пізніше) показали, що вони стикалися з голодом, цингою, дегідратацією, переохолодженням та гангреною. Найбільш руйнівною була відсутність пального. Роком раніше Скотт подорожував Арктикою і виявив, що шкіряні пломби на каністрах із гасом сильно протікають. Зазвичай він утрачав половину пального. Для походу на Південний полюс його команда експериментувала з припоями, збагаченими оловом, і чистим оловом. Але коли спантеличені члени його команди дійшли до каністр, що очікували їх у схованках на зворотному шляху, то знайшли багато з них порожніми. Цей удар часто був подвійним — паливо витікало на запаси провізії.

Без гасу люди не могли готувати їжу та розтоплювати лід для пиття. Один із них захворів і помер; інший збожеволів і заблукав. Останні троє, зокрема Скотт, продовжували йти.

Офіційно було оголошено, що вони померли під дією зовнішніх факторів наприкінці березня 1912 року, за одинадцять миль від британської бази, не в змозі пережити останні ночі.

У ті часи Скотт був таким самим популярним, як потім Ніл Армстронг,— британці сприйняли звістку про його загибель зі скреготом зубів, а 1915 року одна церква навіть установила вітражі на його честь. Як наслідок, люди завжди шукали привід звільнити його від провини, а періодична система надала зручного винуватця. Олово, яке Скотт використовував як припій, було цінним металом ще з біблійних часів, оскільки йому так легко надавати потрібної

форми. За іронією долі, що краще металурги рафінували та очищували олово, то гіршим воно ставало для повсякденного використання. Щоразу, коли чисті олов'яні знаряддя або олов'яні монети чи жерстяні іграшки охолоджувалися, по них починала повзти біляста іржа, наче іній на вікні взимку. Біла іржа розпадалася на пустули, які потім слабшали, і роз'їдала олово, аж поки воно крошилося і оберталося на сирій порох.

На відміну від залізної іржі, це не було хімічною реакцією. Як тепер відомо науковцям, це трапляється тому, що атоми олова можуть розташовуватися всередині твердої речовини двома різними способами, і, коли олово охолоджується, вони переходять зі своєї сильної «бета»-форми в крихку, порошкоподібну «альфа»-форму. Щоби візуалізувати різницю, уявіть, що атоми складаються у величезний ящик, як апельсини. Дно ящика вистелено одним шаром куль, що контактують лише дотично, однією точкою. Щоб заповнити другий, третій та четвертий шари, ви можете збалансувати кожен атом просто над одним із першого шару. Це одна форма, або кристалічна структура. Або ви можете класти другий шар атомів у проміжки між атомами першого шару, потім третій шар у простори між атомами другого шару тощо. У такий спосіб утворюється друга кристалічна структура, з іншою густиною та іншими властивостями. Це лише два з багатьох способів упакувати атоми разом.

Члени команди Скотта (можливо) не могли зрозуміти, що атоми елемента можуть спонтанно переходити від слабкого кристала до міцного або навпаки. Зазвичай для сприяння перестановці потрібні екстремальні умови, як-от підземні тепло і тиск, що перетворюють вуглець із графіту на алмази. Олово стає мінливим за температури 13,2 °C. Навіть прохолодний вечір у жовтні, коли ми надягаємо светри, може призвести до того, що виникнуть пустули й поповзе іній, а холодніші температури прискорять процес. Будь-яка жорстока обробка або деформація (наприклад, утворення вм'ятин на каністрах унаслідок кидання останніх на твердий лід) також можуть каталізувати реакцію, навіть у олові, яке в іншій ситуації має імунітет. Це не просто дефект форми, поверхневий рубець. Такий стан іноді називають «олов'яна чума», оскільки вона заривається глибоко всередину, як хвороба. Альфа-бета-перехід може навіть виділяти достатньо енергії, щоби спричиняти чутний стогін — це яскраво називається «олов'яний крик», хоча він більше схожий статистику в стерео.

Альфа-бета-перехід олова був зручним хімічним цапом-відбувайлом протягом історії. У різних європейських містах, де бувають суворі зими (як-от Санкт-Петербург), існують легенди про дороги олов'яні труби в нових церковних органах, що вибухають попелом, тільки-но органіст візьме свій перший акорд. (Деякі благочестиві громадяни були більш схильні звинувачувати диявола.) Із усе-світньо-історичних наслідків наведу той, коли взимку 1812 року, під час кампанії Наполеона проти Росії, олов'яні застібки на мундирах його людей (багато істориків це заперечують) розривалися, і нижній одяг французів відкривався щоразу, коли здіймався вітер. Як і за жаклих обставин, з якими стикалася маленька група Скотта, французька армія також мала тривалі негаразди в Росії. Але зміна кристалічної структури п'ятдесятого елемента, можливо, ускладнила ситуацію, і звинуватити неупереджену хімію виявилось простіше*, ніж погані рішення героя.

Немає сумнівів, що люди Скотта знайшли порожні каністри — це записано в його щоденнику, — але чи був спричинений витік розпадом олов'яного припою, це спірне питання. Гіпотеза щодо олов'яної чуми має сенс, проте каністри інших команд, виявлені десятиліттями пізніше, зберегли свої паяні пломби. Скотт використовував чистіше олово — хоча воно мало бути надзвичайно чистим, щоби чума взяла верх. Проте жодного іншого гарного пояснення, крім хіба що саботажу, не існує, та немає і жодних доказів брудної гри. Незалежно від того, маленька група Скотта загинула на льоду, ставши принаймні частково жертвами періодичної системи.

Химерні речі трапляються, коли речовина стає дуже холодною та переходить з одного стану в інший. Школярі дізнаються лише про три взаємозамінні стани речовини — твердий, рідкий та газоподібний. Учителі середніх шкіл часто кидають до купи четвертий — плазму, перегрітий стан, у якому електрони відриваються від своїх ядерних причалів і вирушають у вільне плавання*. У коледжі студенти піддаються впливу надпровідників і надрідкого гелію. В аспірантурі професори іноді кидають виклик студентам станами на кшталт кварк-глюонної плазми або виродженої речовини. І попутно кілька розумників завжди запитують, чому желе не вважається особливим станом. (Відповідь: колоїди, як-от желе, — це суміш двох станів*.)

Водно-желатинову суміш можна розглядати як надзвичайно гнучку тверду речовину або дуже пружну рідину.)

Річ у тім, що Всесвіт може вмістити набагато більше станів речовини — різних мікроорганізацій частинок,— ніж ми мріємо у своїх провінційних категоріях твердих речовин, рідин та газів. І ці нові стани не є гібридами, як желе. У деяких випадках руйнується сама різниця між масою та енергією. Альберт Айнштайн розкрив один із таких станів, пораючись 1924 року з кількома рівняннями квантової механіки, потім відхилив свої розрахунки й відхрестився від свого теоретичного відкриття як занадто химерного, щоби колись існувати. Воно й залишалося неможливим, аж поки його створили 1995 року...

Певно, тверді речовини є найосновнішим станом. (Щоби бути скрупкульозним, переважна більшість обсягу кожного атома просто порожня, але надшвидка поспішність електронів надає атомам, за нашими млявими відчуттями, стійку ілюзію твердості.) У твердих тілах атоми вибудовуються в повторювані тривимірні масиви, хоча навіть найбільш стійкі тверді речовини зазвичай можуть утворювати більше одного типу кристалів. Тепер учені можуть намовити лід на формування чотирнадцяти різновидів кристалів чіткої форми за допомогою камер високого тиску. Деякі льоди тонуть, а не плавають у воді, а інші утворюють не шестигранні сніжинки, а форми, схожі на листя пальми або головки цвітної капусти. Один інопланетний лід, Ice X, не тане, поки температура не перевищить 2000 °С.

Навіть не чисті та складні речовини, як-от шоколад, утворюють квазикристали, що можуть змінювати форму. Чи відкривали ви колись старі цукерки *Kiss* від *Hershey* і бачили неапетитну засмагу? Ми можемо назвати це шоколадною чумою, спричиненою тими самими альфа-бета-переходами, що прирекли Скотта в Антарктиді.

Кристалічні тверді речовини найлегше утворюються за низьких температур, і залежно від того, наскільки низькою стає температура, елементи, які ви вважали знайомими, можуть стати майже невпізнаними. Благородні гази зазвичай уникають усього, але навіть вони, коли їх примушують перейти у тверду форму, вирішують, що тусуватися разом з іншими елементами — не така вже й погана ідея. Порушивши десятиліття догми, канадський хімік Ніл Бартлетт 1962 року створив першу сполуку благородного газу, твердий помаранчевий кристал із ксеноном*. Щоправда, це сталося за кім-

натної температури та тільки з гексафторидом платини, приблизно такою ж їдкою хімічною речовиною, як суперкислота. Плюс ксенон, найбільш стабільний інертний газ, реагує набагато легше, ніж інші, оскільки його електрони лише слабо зв'язані з ядром. Щоби змусити реагувати менш шляхетні гази закритого рангу, хімікам довелося різко зменшити температуру й практично анестезувати їх. Криптон протримався приблизно $-240\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-150\text{ }^{\circ}\text{C}$), після чого на ньому зміг зафіксуватися надреактивний фтор.

Змусити реагувати криптон було все одно, що змішувати соду та оцет, порівняно з боротьбою за прищеплення чогось на аргон. Після твердої ксенонової сполуки Бартлетта 1962-го та першої твердої речовини криптоноу 1963-го минуло тридцять сім неприємних років, поки 2000-го фінські вчені остаточно склали правильну процедуру для аргону. Це був експеримент витонченості Фаберже, що вимагав твердого аргону; газоподібних водню та фтору; високо-реакційної сполучної закваски — йодиду цезію — для активізації реакції; своєчасних сплесків ультрафіолетового світла — і все це налаштоване на випікання на морозі в $-445\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-265\text{ }^{\circ}\text{C}$). Коли температура трохи підвищувалася, сполука аргону руйнувалася.

Проте нижче цієї температури фторгідрид аргону був міцним кристалом. Фінські вчені оголосили про цей подвиг у статті з дуже доступною для наукової роботи назвою «Стабільна аргонна сполука».

Просто сповіщення про те, що вони зробили, було достатнім вихваланням. Учені впевнені, що навіть у найхолодніших регіонах космосу крихітні гелій та неон ніколи не поєднувалися з іншим елементом. Отже, на даний час аргон носить чемпіонський пояс єдиного найстійкішого елемента, який люди змусили створити сполуку.

Беручи до уваги небажання аргону змінювати свої звички, створення його сполуки було великим подвигом. Проте вчені не вважають сполуки благородних газів або навіть альфа-бета-переходи в олові справді різними станами речовини. Різні стани вимагають суттєво відмінної енергії, у якій атоми взаємодіють суттєво по-різному. Ось чому тверді речовини, де атоми (переважно) закріплені на місці, рідини, де частинки можуть обтікати одна одну, і гази, де частинки можуть вільно літати, дійсно є різними станами речовини.

Проте тверді речовини, рідини та газу мають багато спільного. По-перше, їхні частинки є чітко визначеними та дискретними. Але цей суверенітет поступається місцем анархії, коли ви нагріваєте речі до стану плазми й атоми починають розпадатися, або коли ви охолоджуєте речі до дуже низьких температур і виникають колективістські стани речовини, де частинки починають перекриватися й поєднуються в захопливі способи.

Візьміть надпровідники. Електрика складається з легкого потоку електронів у колі. У середині мідного дроту електрони протікають між атомами міді та навколо них, і дріт утрачає енергію як тепло, коли електрони врізаються в атоми. Очевидно, що в надпровідниках щось пригнічує цей процес, оскільки електрони, що протікають крізь них, ніколи не сигналізують про себе. Насправді струм може текти вічно, доки надпровідник залишається охолодженим, — властивість, уперше виявлена в ртуті за температури $-450\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-268\text{ }^{\circ}\text{C}$) 1911 року. Протягом десятиліть більшість учених припускала, що надпровідні електрони просто мали більше місця для маневру: атоми в надпровіднику мають набагато менше енергії, щоб вібрувати туди-сюди, даючи електронам ширше плече, аби проскочити й уникнути зіткнення. Це пояснення годиться, поки нема кращого. Але насправді, як 1957 року з'ясували троє вчених, за низьких температур метаморфізуються саме електрони.

Пролітаючи повз атоми в надпровіднику, електрони тягнуть за собою їхні ядра. Позитивні ядра злегка дрейфують у бік електронів, і це залишає слід позитивного заряду більшої щільності. Більш щільний заряд притягує інші електрони, які в певному сенсі стають парними з першими. Це не є сильний зв'язок між електронами, він більше схожий на слабкий зв'язок між аргонем і фтором; ось чому таке виникає лише за низьких температур, коли атоми не надто вібрують і не збивають електрони. За тих низьких температур не можна вважати електрони ізольованими; вони злипаються разом і працюють командами. І під час їх циркулювання, якщо один електрон гальмується або стукається в атом, його партнери виривають його, перш ніж він сповільнюється. Це як той старий заборонений в американському футболі прийом, коли безшоломні в ті часи гравці зчеплялися зігнутими руками й штурмували поле — отакий летючий електронний клин. Цей мікроскопічний стан перетворюється на надпровідність, коли мільярди мільярдів пар роблять те саме.

До речі, це пояснення відоме як теорія надпровідності БКШ (BCS), за прізвищами її розробників: Джона Бардіна, Леона Купера (електронні партнери називаються пари Купера) і Роберта Шріффера*. Це той самий Джон Бардін, який є одним із винахідників германієвого транзистора, виграв за це Нобелівську премію і впустив свою яєчню на підлогу, почувши новину про нагороду. Бардін присвятив себе суперпровідності після того, як пішов із «Лабораторії Белла» і переїхав до Іллінойсу 1951 року, а тріо BCS запропонувало повну теорію за шість років. Вона виявилася такою вдалою й такою точною, що за свою роботу вони отримали Нобелівську премію з фізики 1972 року. Цього разу Бардін відзначив цю подію, пропустивши прес-конференцію у своєму університеті, оскільки не міг зрозуміти, як відчинити свої нові (транзисторні) електричні гаражні двері. Але коли він відвідав Стокгольм удруге, то презентував королю Швеції своїх двох дорослих синів — як і обіцяв у 1950-ті.

Якщо елементи охолоджені навіть нижче надпровідних температур, атоми розростаються настільки, що перекриваються і поглинають один одного — стан, званий когерентність (узгодженість). Когерентність має вирішальне значення для розуміння того неможливого айнштайнівського стану матерії, який я згадував раніше в цьому розділі. Розуміння узгодженості вимагає короткого, але, на щастя, багатого елементами шляху до природи світла та ще однієї, неможливої колись новинки — лазерів.

Мало що радує дивне естетичне почуття фізика так сильно, як подвійність, дуалізм, природи світла. Зазвичай ми сприймаємо світло як хвилі. Насправді Айнштайн сформулював свою спеціальну теорію відносності, частково думаючи про те, яким би йому здавався Всесвіт — який би вигляд мав космос, як минав би час (і чи минав би?), якби він їхав сидячи боком на одній із цих хвиль. (Не питайте мене, як він собі це уявив.) Водночас Айнштайн довів (він усюдисущий на цій арені), що світло іноді діє як частинки електромагнітного випромінювання, які називаються фотони. Поеднуючи хвильовий і корпускулярний погляди (так звана подвійність хвиль і частинки), він зробив правильний висновок, що світло — це не тільки найшвидша річ у Всесвіті, а й найшвидша з можливих речей,

зі швидкістю 300 000 кілометрів за секунду (у вакуумі). Визначення світла як хвилі чи фотонів залежить від того, як ви його вимірюєте, оскільки світло не є ані тим, ані іншим.

Попри свою сувору красу у вакуумі, світло взаємодіє з деякими елементами. Натрій і празеодим можуть сповільнювати світло до 10 кілометрів за секунду, повільніше за звук. Ці елементи можуть навіть уловлювати світло, затримувати його кілька секунд, як м'яч у бейсболі, а потім кидати в іншому напрямку.

Лазери маніпулюють світлом у більш тонкі способи. Згадайте, що електрони схожі на ліфти: вони ніколи не піднімаються з рівня 1 на рівень 3,5 і не опускаються з рівня 5 на рівень 1,8. Електрони стрибають лише між рівнями з цілочисельними номерами. Коли збуджені електрони падають назад, вони викидають надлишки енергії як світло, а оскільки рух електронів настільки обмежений, то й колір виробленого світла теж. Воно монохроматичне — принаймні теоретично. На практиці електрони в різних атомах одночасно падають з рівня 3 на рівень 1, або з 4-го на 2-й, або як завгодно — і кожне різне падіння виробляє відмінний колір. До того ж різні атоми випромінюють світло в різний час. На наш погляд це світло здається рівномірним, але на рівні фотонів воно неузгоджене й перемішане.

Лазери обходять цю проблему синхронізації, обмежуючи, на яких поверххах зупиняється ліфт (як і їхні кузени, мазери, що працюють так само, але виробляють невидиме світло). Найпотужніші, найбільш захопливі лазери сьогодні здатні виробляти пучки, які за частку секунди видають більше енергії, ніж усі Сполучені Штати, і використовують кристали ітрію з додаванням неодиму. Усередині лазера стробоскопічне світло звивається навколо неодимо-ітрієвого кристала й неймовірно швидко спалахує з надзвичайно високою інтенсивністю. Це вливання світла збуджує електрони в неодимі і змушує їх стрибати значно вище, ніж зазвичай. Якщо порівнювати з нашим ліфтом, вони можуть підскочити на десятий поверх. Відчуваючи, як паморочиться голова, вони негайно повертаються назад, на безпечний, скажімо, другий поверх. Хоча, на відміну від звичайних переходів, електрони настільки збуджені, що в них відбувається пробій і надлишок енергії не виділяється як світло — вони струшуються і виділяють його як тепло. Крім того, полегшені, перебуваючи на безпечному другому поверсі, вони виходять з ліфта, гойдаються і не поспішають зійти на перший поверх.

Насправді, перш ніж вони зможуть зійти, стробоскоп знову спалахує. Це призводить до того, що наступні електрони неодиму летять на десятій поверх і падають униз. Коли це неодноразово повторюється, на другому поверсі стає затісно; коли там накопичиться більше електронів, ніж на першому, кажуть, що лазер досяг «інверсії популяції». У цей момент, якщо якісь незрозумілі електрони справді стрибають на перший поверх, вони заважають своїм і без того збентеженим у густій юрбі сусідам і скидають їх із балкона, а ті, зі свого боку, збивають інших. Зверніть увагу на просту красу цього явища: коли неодимові електрони падають цього разу, вони падають з другого рівня на перший всі одночасно, тому виробляють світло однакового кольору. Ця узгодженість (когерентність) є ключовою рисою лазера. Решта лазерного апарата очищає світлові промені й відточує пучки, відбиваючи їх між двома дзеркалами. Але на той момент неодимо-ітрієвий кристал уже зробив свою роботу, створюючи когерентне, концентроване світло, настільки потужні промені, що вони можуть спричинити термоядерний синтез, але водночас настільки сфокусовані, що можуть корегувати рогівку, не підсмажуючи решти ока.

Якщо виходити з цього технічного опису, лазери радше здаються інженерними досягненнями, ніж науковими дивами, проте вони — і мазери, які історично були першими, — стикнулися із серйозними упередженнями науковців, коли були розроблені в 1950-х. Чарлз Таунс пам'ятає, що навіть після того, як він побудував перший мазер на ходу, старші вчені втомлено дивилися на нього й казали: «Вибач, Чарлзе, це неможливо».

І це не були якісь халтурники — бездумні заперечники, яким не вистачало фантазії, щоби побачити Наступну Велику Річ. І Джон фон Нейман, який допоміг розробити базову архітектуру сучасних комп'ютерів (і сучасних ядерних бомб), і Нільс Бор, котрий зробив для пояснення квантової механіки більше, ніж хтось інший, кинули Таунсів мазер просто йому в обличчя як однозначно «неможливий».

Бор і фон Нейман відмахнулися від нього з простої причини: вони забули про подвійність світла. Якщо конкретніше, їх збив на манівці принцип невизначеності у квантовій механіці. Бо відомий принцип невизначеності Вернера Гейзенберга так легко неправильно зрозуміти — але коли вже його зрозумієш, то отримаєш потужний інструмент для створення нових форм матерії. (Наступний розділ розкриє цю маленьку загадку про Всесвіт.)

Немає нічого, що не лоскоче фізиків так, як подвійна природа світла,— і ніщо не змушує їх скривитися сильніше, ніж почути, як хтось викладає принцип невизначеності у випадках, коли він не застосовується. Попри те що ви, можливо, чули, він не має (майже*) нічого спільного з тим, що спостерігачі змінюють речі самим лише актом спостереження. Усе, що говорить принцип, у всій його півноті, це ось що:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}.$$

І все.

Тепер, якщо перекласти квантову механіку людською мовою (а це завжди ризиковано), рівняння говорить, що невизначеність у положенні якоїсь речі (Δx), помножена на невизначеність щодо її швидкості та напрямку (її імпульс, Δp), завжди перевищує або дорівнює числу h , поділеному на чотири числа π (h позначає сталу Планка, яка настільки мала, приблизно в 100 трильйонів трильйонів разів менша одиниці, що принцип невизначеності застосовується лише до найкрихітніших речей, як-от електрони або фотони). Інакше кажучи, якщо ви дуже добре знаєте положення частинки, то взагалі не можете добре знати її імпульс, і навпаки.

Зверніть увагу, що ці невизначеності не є невизначеністю щодо вимірювання речей, ніби у вас погана лінійка; це невизначеності, вбудовані в саму природу. Згадайте, що світло має подвійну природу — частково хвиля, частково частинка. Заперечивши лазер, Бор і фон Нейман застрягли в способах дії світла як частинок, або фотонів. Для їхніх вух лазери звучали настільки точно й сфокусовано, що невизначеність в положеннях фотонів мала бути нульовою. Це означало, що невизначеність імпульсу мусила бути великою, а отже, що фотони могли б відлітати з будь-якою енергією або в будь-якому напрямку,— це здавалося, суперечило ідеї щільно сфокусованого променя.

Вони забули, що світло поводить себе ще і як хвиля і що правила для хвиль інші. По-перше, як можна сказати, де перебуває хвиля? За своєю природою вона поширюється — от вам вбудоване джерело невизначеності. І, на відміну від частинок, хвилі можуть ковтати одна одну та поєднуватися з іншими хвилями. Два камені, кинуті в ставок, піднімуть в ділянці між ними найвищі гребені, які отримують енергію від менших хвиль по обидва боки. У випадку лазера

існує не два, а трильйони трильйонів «каменів» (тобто електронів), що збивають хвилі світла, а ті всі змішуються між собою. Ключовим моментом є те, що принцип невизначеності застосовується не до наборів частинок, а лише до окремих частинок.

Усередині променя, або ж пучка частинок світла, неможливо сказати, де перебуває якийсь один фотон. І з такою високою незрозумілістю щодо положення кожного фотона всередині променя ви можете дуже, дуже точно спрямувати його енергію та напрямок — і зробити лазер. Цю лазівку важко використати, але вона надзвичайно потужна, тільки-но ви вкладете в неї пальці,— саме тому журнал *Time* ушанував Таунса, визначивши його одним із «Людей року» (разом із Полінгом та Серге) 1960 року, і тому Таунс виграв Нобелівську премію 1964 року за свою роботу над мазером.

Насправді вчені незабаром зрозуміли, що всередині лазівки набагато більше, ніж лише фотони. Подібно до того, як світлові промені мають подвійну природу частинок/хвиль, що далі ви закопуєтесь і аналізуєте електрони, протони та інші передбачувані тверді частинки, то нечіткішими вони здаються. Матерія на своєму найглибшому, найзагадковішому квантовому рівні є невизначеною та хвилеподібною. І оскільки на такій глибині принцип невизначеності є математичним твердженням про межі накреслення меж навколо хвиль, ці частинки теж потрапляють під егіду невизначеності.

Знову ж таки, це працює лише на найменших масштабах, тих, де h , стала Планка, число в 100 трильйонів трильйонів разів менше одиниці, не вважається малою. Що дратує фізиків, коли хтось екстраполює принцип вгору й назовні, аж до живих людей, і стверджує, що $\Delta x \Delta p > \frac{h}{4\pi}$ справді «доводить», що ви не можете спостерігати щось у повсякденному світі, не змінюючи цього,— або, для евристичної сміливості, що об'єктивність сама собою є шахрайством і що вчені обманюють себе, гадаючи, що вони «щось знають». По правді кажучи, існує лише один випадок, коли невизначеність наномасштабу впливає на щось у нашому макромасштабі: той дивний стан речовини — конденсат Бозе—Айнштейна (БАК) — обіцяний раніше в цьому розділі.

Ця історія починається в ранні 1920-ті, коли Шатьєндрат Бозе, повнощокій і завжди в окулярах індійський фізик, зробив помилку в роботі над деякими рівняннями квантової механіки під час лекції.

Ця історія починається в ранні 1920-ті, коли Шатьєндрат Бозе, повнощокій і завжди в окулярах індійський фізик, зробив помилку в роботі над деякими рівняннями квантової механіки під час лекції.

Це була недбала, суто студентська помилка, але з часом вона заінтригувала Бозе.

Спочатку, не підозрюючи про неї, він довів рішення до кінця, перевірів — і лише тоді виявив, що «неправильні» відповіді, отримані внаслідок його помилки, дуже добре узгоджуються з експериментами щодо властивостей фотонів, набагато краще, ніж «правильна» теорія*.

Тож, як учиняли фізики протягом усієї історії, Бозе вирішив зробити вигляд, що його помилка була істиною, визнати, що він не знає, чому так сталося, і написати статтю. Його, здавалося б, помилка, а також невідомість, бо він був індійцем, змусили кожен відомий науковий журнал в Європі відкинути її. Не злякавшись, Бозе надіслав свою статтю безпосередньо Альберту Айнштайну. Айнштайн уважно вивчив її та визначив, що відповідь Бозе була розумною, — вона стверджувала, що певні частинки, як-от фотони, можуть злипатись одна з одною, поки їх не можна буде розрізнити. Айнштайн трохи очистив текст, переклав його німецькою, а потім розширив роботу Бозе в іншу, окрему статтю, яка охоплювала не просто фотони, а цілі атоми. Використовуючи свою популярність, Айнштайн видав обидві статті спільно.

Айнштайн додав до них кілька рядків, які вказували: якщо атоми досить охолонуть — стануть у мільярди разів холоднішими навіть за надпровідники, — вони конденсуватимуться в новий стан речовини. Однак здатність виробляти такі холодні атоми настільки перевершувала тогочасні технології, що навіть прозорливий Айнштайн не міг сприйняти такої можливості. Він уважав цей конденсат вільною грою думки. Дивно, але вчені побачили проблеск матерії Бозе—Айнштайна за десять років у типі надрідкого гелію, де невеликі кишені атомів зв'язувалися між собою. Куперові пари електронів у надпровідниках також поведуться як БАК. Але це зв'язування між собою в надплинних середовищах і надпровідниках було обмеженим і не зовсім таким, як передбачав Айнштайн, — він писав про холодний, розріджений туман. Попри це, дослідники гелію та люди з групи БКШ (BCS) ніколи не вивчали гіпотез Айнштайна, і більше нічого не відбувалося з БАК до 1995 року, коли двоє тямущих учених з Університету Колорадо замислилися про газ з атомів рубідію.

Цілком очевидно, що одним із технічних досягнень, яке зробило можливим реальний БАК, був лазер, що базувався на ідеях, уперше

висказаних Бозе про фотони. Це може здатися нелогічним, оскільки лазери зазвичай нагрівають речі. Але лазери можуть також охолоджувати атоми, якщо вміти правильно з ними поводитися. На базовому, наноскопічному рівні, температура просто вимірює середню швидкість частинок. Гарячі молекули — це розлучені маленькі стиснуті кулаки, а холодні молекули ледве тягнуться. Отже, ключовим фактором охолодження чогось є уповільнення його частинок. За лазерного охолодження вчені перетинають кілька променів, як мисливці на привидів, і створюють пастку «оптичної патоки». Коли атоми рубідію в газі пробивалися крізь патоку, лазери перетворювали їх на фотони низької інтенсивності. Атоми рубідію були більшими та потужнішими, тож це було схоже на стрілянину з кулемета у волаючий астероїд. Розміри несумісні, але, якщо вліпити в астероїд достатню кількість куль, зрештою можна зупинити його, і саме це сталося з атомами рубідію. Поглинаючи фотони з усіх боків, вони сповільнювалися, сповільнювалися, сповільнювалися ще трохи, і їхня температура знизилася до $1/10\ 000$ градуса вище абсолютного нуля.

Але навіть ця температура була занадто спекотною для БАК (тепер ви можете зрозуміти, чому Айнштайн був таким песимістичним). Тож двоє з Колорадо, Ерік Корнелл та Карл Віман, додали другу фазу охолодження, під час якої магніт неодноразово висмоктував «найгарячіші» атоми, що залишилися в рубідієвому газі. Це нагадувало спосіб дмухати на ложку супу — охолоджувати щось, відштовхуючи тепліші атоми. З відходом енергійних атомів загальна температура постійно знижувалася. Роблячи це повільно і збиваючи щоразу лише кілька гарячих атомів, учені довели температуру аж до одної мільярдної частини градуса ($0,000000001$) вище абсолютного нуля. Цієї миті зразок із двох тисяч атомів рубідію нарешті перейшов у стан конденсату Бозе—Айнштейна, найхолоднішу, найлипучішу та найнедовговічнішу масу, яку колись знав Усесвіт.

Але слова «дві тисячі атомів рубідію» затьмарюють те, що особливого в БАК. Не було двох тисяч атомів рубідію, був один гігантський зефірний атом рубідію. Це була особливість, пояснення якої пов'язане з принципом невизначеності. Знову ж таки, температура просто характеризує середню швидкість атомів. Якщо температура молекул знижується до мільярдної частки градуса, це зовсім не велика чи мала швидкість — це просто означає, що невизначеність

щодо цієї швидкості є абсурдно низькою. Це практично нуль. І через хвилеподібну природу атомів на цьому рівні невизначеність щодо їхнього положення повинна бути досить великою.

Настільки великою, що, коли обидва вчені невпинно охолоджували атоми рубідію та стискали їх між собою, атоми почали набухати, роздуватися, перекиватися і нарешті зникати один в одному. Це призвело до появи одного великого примарного «атома», який теоретично (якби він не був таким крихким) можна було побачити під мікроскопом. Ось чому ми можемо сказати, що в цьому разі, на відміну від будь-якої іншої ситуації, принцип невизначеності злетів угору і вплинув на щось (майже) у людському вимірюванні. Для створення цього нового стану речовини знадобилося обладнання на суму менше 100 000 доларів, а БАК тримався разом лише десять секунд, після чого фактично згорів. Але це тривало досить довго, щоби заробити для Корнелла та Вімана Нобелівську премію за 2001 рік*.

Відповідно до вдосконалення технологій учені все краще й краще спонукували речовини утворювати БАК. Це ще не схоже на те, що хтось приймає замовлення, але незабаром науковці зможуть побудувати «речовинні лазери», які будуть вистрілювати ультрафокусовані пучки атомів, у тисячі разів потужніші за світлові лазери, або створити «надтверді» кубики льоду, які можуть протікати один крізь інший, не втрачаючи своєї твердості. У нашому науково-фантастичному майбутньому подібні речі можуть виявитися настільки ж дивовижними, як світлові лазери та надплинна рідина у наш власний досить чудовий вік.

Сфери блиску: наука про бульбашки

1 H 1.008	20 Ca 40.078	104 Rf (267)	86 Rn 222	40 Zr 91.224	54 Xe 131.294
-----------------	--------------------	--------------------	-----------------	--------------------	---------------------

Не кожен прорив у науці про періодичну систему повинен заглиблюватися в екзотичні та складні стани речовини, як-от БАК. Повсякденні рідини, тверді речовини та гази все ще час від часу видають секрети, якщо фортуна та наукові музи домовляться про сумісні дії в правильному напрямку. Власне кажучи, згідно з легендою, одну з найважливіших частин наукового обладнання в історії було винайдено не тільки за келихом пива, але й за допомогою келиха пива.

Дональд Глазер — скромний, спраглий двадцятип'ятирічний молодший викладач, який відвідував бари біля Університету Мічигану,— дивився одного вечора на бульбашки, що здіймалися крізь його світле пиво, і, природно, роздумував про фізику частинок. У той час, 1952 року, учені використовували знання Мангеттенського проекту та ядерної науки, щоби уявити екзотичні та тендітні види частинок, як-от каони, мюони та піони, примарних братів знайомих протонів, нейтронів та електронів. Дослідники елементарних частинок підозрювали, навіть сподівалися, що ці частинки скинуть періодичну таблицю як фундаментальну карту матерії, і вони зможуть заглянути ще глибше в субатомні печери.

Але для подальшого просування їм потрібен був кращий спосіб «побачити» ці нескінченно малі частинки та відстежити, як вони поведуться. За пивом Глазер, який мав коротке хвилясте волосся, окуляри та високий лоб, вирішив, що відповіддю є бульбашки. Пухирці в рідинах утворюються навколо недосконалостей або невідповідностей. Мікроскопічні подряпини в келиху для шампанського — це одне з таких місць; кишені розчиненого вуглекислого газу в пиві — ще одне. Як фізик Глазер знав, що бульбашки особливо схильні до утворення, коли рідини нагріваються й наближаються до температури кипіння (згадайте каструлю з водою на плиті). Насправді, якщо утримувати рідину трохи нижче її температури кипіння, вона розірветься на бульбашки, якщо щось її збудить.

Це було гарним початком, але все ще базовою фізикою. Що виділяло Глазера — подальші розумові кроки, які він зробив. Ці рідкісні каони, мюони та піони з'являються лише тоді, коли серце атома, його щільне ядро, розщеплене. 1952 року існував пристрій під назвою «хмарна камера», у якому «пістолет» стріляв надшвидкими атомними торпедами в атоми холодного газу. Мюони, каони тощо інколи з'являлися в камері після прямих ударів, і газ конденсувався в рідкі краплі вздовж доріжки частинок. Але більше сенсу, подумав Глазер, було б підмінювати газ рідиною. Рідини в тисячі разів густіші газів, тому націлювання атомної гармати на, скажімо, рідкий водень спричинить набагато більше зіткнень. До того ж, якби рідкий водень утримувався на волосинку нижче точки кипіння, навіть невеликий удар енергії від примарної частинки спінив би його, як пиво Глазера. Також Глазер підозрював, що може сфотографувати сліди бульбашок, а потім виміряти, як різні частинки залишають різні сліди або спіралі, залежно від їхнього розміру та заряду... На той час, коли Глазер проковтнув останню бульбашку з власного келиха, каже історія, він уже все розробив.

Це історія про щасливу здатність до відкриттів, у яку вчені давно хотіли повірити. Але на жаль, як і більшість легенд, вона не зовсім точна. Глазер справді винайшов бульбашкову камеру, але після ретельних експериментів у лабораторії, а не на серветці в пабі. На щастя, правда ще дивніша за легенду. Глазер спроектував свою бульбашкову камеру для роботи, про яку сказано вище, але з однією модифікацією.

Хтозна з якої причини — можливо, через тривале, ще зі студентських часів, захоплення — цей молодий чоловік вирішив, що пиво,

а не водень, є найкращою рідиною для стрільби в неї з атомної гармати. Він справді вважав, що пиво призведе до епохального прориву в субатомній науці. Ви майже можете собі уявити, як він уночі контрабандно ввозив «Будвайзер» до лабораторії, можливо, розділяючи стандартну упаковку — шість баночок — між наукою і своїм шлунком, коли наповнював мензурки розміром із наперсток «американським найкращим», нагрівав їх майже до кипіння й бомбардував для отримання найбільш екзотичних частинок, відомих тоді фізиці.

На жаль для науки, як пізніше казав Глазер, пивні експерименти провалилися. До того ж партнери з лабораторії не оцінили сморід випареного пива. Не злякавшись, Глазер удосконалив свої експерименти, а його колега Луїс Альварес — відомий гіпотезою про астероїд, що вбив динозаврів, — урешті-решт визначив, що найбільш розумною рідиною для використання насправді був водень. Рідкий водень кипить за температури -435°F (-260°C), тому навіть від мінімальної кількості тепла буде пінитися. Як найпростіший елемент, водень також уникає брудних ускладнень, які можуть спричинити інші елементи (або пиво) унаслідок зіткнення з частинками. Перероблена бульбашкова камера Глазера забезпечила стільки відкриттів, що вже 1960 року він з'явився серед п'ятнадцяти «Людей року» журналу *Time* разом із Лайнусом Полінгом, Вільямом Шоклі та Емілію Сегре. Він також отримав Нобелівську премію в непристойно молодому віці тридцяти трьох років.

Перебравшись до того часу в Берклі, він позичив для церемонії білий жилет Едвіна Макміллана та Сегре.

Бульбашки зазвичай не вважають важливим науковим інструментом. Попри — або, можливо, через — їхню всюдисущість у природі та простоту виготовлення, їх століттями відкидали як іграшки. Але коли фізика почала домінувати серед наук 1900-х, фізики раптом знайшли для цих іграшок багато роботи в дослідженні найбазовіших структур у Всесвіті. Зараз, коли біологія стала важливішою, біологи використовують бульбашки для вивчення розвитку клітин — найскладніших структур у Всесвіті. Бульбашки виявилися чудовими природними лабораторіями для експериментів у всіх галузях, і недавню історію науки можна читати паралельно з вивченням цих «блискучих сфер».

Одним з елементів, який легко утворює бульбашки — а також піну, стан, коли бульбашки перекриваються і втрачають сферичну форму,— є кальцій. Клітини щодо тканин — це те саме, що бульбашки стосовно піни, а найкращий приклад пінистої структури тіла (крім слини) — губчаста кістка. Зазвичай ми вважаємо пінопласт аж ніяк не міцнішим за крем для гоління, але коли певні речовини, наповнені повітрям, висихають або охолоджуються, вони тверднуть і застигають, як міцні версії піни для ванни. Насправді NASA використовує спеціальні піни, щоби захистити космічні шатли під час входу в атмосферу, а збагачені кальцієм кістки настільки ж міцні, але водночас легкі. Ба більше, скульптори тисячоліттями вирізали надгробки,obelіски та фальшивих богів із податливих, але міцних кальцієвих порід, як-от мармур та вапняк. Ці породи утворюються, коли крихітні морські істоти гинуть, а їхні багаті на кальцій черепашки тонуть і скупчуються на дні океану. Як і кістки, оболонки мають природні пори, але хімія кальцію підвищує їхню міцність щодо стиснення. Більшість природних вод, як-от дощова, є слабокислими, тоді як мінерали кальцію є дещо лужними. Коли вода затікає в кальцієві пори, вони реагують як мінівулкани, що демонструють у початковій школі, виділяючи невелику кількість вуглекислого газу, який пом'якшує камінь. У великому геологічному масштабі реакції між дощовою водою та кальцієм утворюють величезні порожнини, котрі ми знаємо як печери.

Крім анатомії та мистецтва, бульбашки кальцію сформували світову економіку та імперії. Чимало багатих на кальцій бухт уздовж південного узбережжя Англії не є природними, вони виникли як вапнякові кар'єри приблизно 55 року до н. е., коли туди прибули любителі вапняку — римляни. Розіслані Юлієм Цезарем розвідники помітили привабливий вапняк кремового кольору поблизу сучасного селища Бір у Східному Девоні й почали вивозити його, щоби прикрасити римські фасади. Пізніше англійський вапняк із Біра було використано для будівництва Букінгемського палацу, лондонського Тауера та Вестмінстерського абатства, а замість зниклої породи в приморських скелях залишилися зняти печери. До 1800 року кілька місцевих хлопців, які виростили на вітрильниках і гралися в лабіринтах, вирішили поєднати свої дитячі розваги з контрабандою, використовуючи кальцієві бухти, щоби приховати

французький коньяк, скрипки, тютюн та шовк, які вони привозили з Нормандії швидкими вітрильними човнами.

Контрабандисти (або вільні торговці, як вони себе називали) процвітали через ненависні податки, які англійський уряд стягував із французьких товарів на зло Наполеонові, і дефіцит оподатковуваних товарів неминуче створював бульбашку попиту. До речі, нездатність дорогої берегової охорони Його Величності впоратися з контрабандою була однією з причин, яка переконала Парламент лібералізувати закони про торгівлю в 1840-х, що призвело до реально вільної торгівлі, а разом з нею — й економічного процвітання, котре дозволило Великій Британії розширити свою імперію, «над якою ніколи не заходить сонце».

З огляду на всю цю історію, можна було б очікувати давньої традиції бульбашкової науки, але ні. Відомі уми, як-от Бенджамін Франклін (котрий виявив, чому олія заспокоює пінисту воду) і Роберт Бойль (що експериментував із сечею і навіть любив скуштувати свіжу пінисту рідину зі свого камерного горщика), справді цікавилися бульбашками. А примітивні фізіологи іноді робили речі на кшталт барботування газів у кров напівживих, напіврозсічених собак. Але вчені здебільшого ігнорували самі бульбашки, їхню структуру та форму, а дослідження бульбашок залишали галузям, які вони зневажали як інтелектуально нижчі — тим, котрі можна було б назвати «інтуїтивні науки». Інтуїтивні науки не є патологічними, це лише галузі, як-от конярство або садівництво, котрі досліджують природні явища, але довгий час покладалися більше на здогадки та альманахи, ніж на контрольовані експерименти. Інтуїтивною наукою, яка підхопила дослідження бульбашок, була кулінарія. Пекарі та пивовари давно використовували дріжджі — примітивні машини для виготовлення бульбашок — для закваски хліба та карбонатного пива. Але шеф-кухарі високої кухні XVIII століття в Європі навчилися збивати яечний білок у величезні хмари пухнастої піни й почали експериментувати з безе, пористими сирами, збитими вершками та капучино, які ми любимо й сьогодні.

Проте кухарі та хіміки зазвичай не довіряли один одному: хіміки вважали кулінарів недисциплінованими та ненауковими, кухарі бачили в хіміках стерильних та занудних бурчунів. Лише приблизно 1900 року наука про бульбашки перетворилася на поважну сферу, хоча відповідальні люди, Ернест Резерфорд та лорд Кельвін, мали

лише неясні уявлення про те, до чого призведе їхня робота. Насправді Резерфорда найбільше цікавили роботи стосовно свинцю, який на той час був темною глибиною періодичної таблиці.

Незабаром після переїзду 1895 року з Нової Зеландії до Кембриджського університету Резерфорд присвятив себе радіоактивності та генетиці, або нанотехнологіям того часу. Природна бадьорість привела Резерфорда до експериментальної науки, адже він зовсім не був білоручкою. Він виріс на перепелиному полюванні й копанні картоплі на сімейній фермі, а серед одягнених у мантії донів Кембриджа почувався наче «осел у левиній шкурі» (слова з його спогадів). Він носив моржові вуса, повсюди таскав у кишнях радіоактивні зразки, курич смердючі сигари та люльки. Мав манеру випалювати дивні евфемізми — можливо, його благочестива дружина-християнка відучила його від нецензурної лайки,— а також прокляття в лабораторії, тому що не міг утриматися від того, щоби не проклясти до біса своє обладнання, коли воно не працювало як треба. Можливо, щоби компенсувати свої прокляття, він також проспівував, голосно і досить фальшиво, «Вперед, християнські солдати», ходячи навколо своєї тьмяної лабораторії. Попри подібний опис — майже людожера,— видатною науковою рисою Резерфорда була елегантність. Можливо, ніхто в історії науки не вмів краще вивідувати у фізичної апаратури таємниці природи. І не знайти кращого прикладу, ніж елегантність, з якою він розгадав таємницю того, як один елемент може трансформуватися в інший.

Після переїзду з Кембриджа до Монреаля Резерфорд зацікавився тим, як радіоактивні речовини забруднюють повітря навколо себе більшою радіоактивністю. Щоби дослідити це, Резерфорд спирався на роботи Марії Кюрі, але новозеландський провінціал виявився вибагливішим, ніж його знаменитіша сучасниця. За словами Кюрі (серед інших), радіоактивні елементи випускали своєрідний газ «чистої радіоактивності», який заряджав повітря так само, як лампочки заливають повітря світлом. Резерфорд підозрював, що «чиста радіоактивність» насправді була невідомим газоподібним елементом зі своїми радіоактивними властивостями. Як наслідок, замість на кшталт Кюрі місяцями варити тисячі фунтів чорної бульбашкової смоли, щоб отримати мікроскопічні зразки радію та полонію, Резерфорд відчув наявність коротшого шляху й дозволив природі працювати за нього. Він просто залишив активні зразки

під перевернутою склянкою, щоб уловити бульбашки, що вириваються, а потім повернувся, аби знайти весь потрібний йому радіоактивний матеріал. Резерфорд та його співробітник Фредерік Содді швидко довели, що радіоактивні бульбашки насправді є новим елементом — радоном. І оскільки зразок під склянкою зменшився пропорційно збільшенню зразка радону, вони зрозуміли, що один елемент насправді мутував в інший.

Резерфорд і Содді не тільки знайшли новий елемент — вони виявили нові правила стрибків періодичною системою. Елементи могли раптово рухатися вбік, коли вони розкладалися і проскакували порожні комірки. Це було захопливе, але блюзнірство. Наука нарешті дискредитувала і відлучила від світу хіміків-чаклунів, які стверджували, що перетворюють свинець на золото,— і тут Резерфорд і Содді відкривали ворота знову! Коли Содді нарешті дозволив собі повірити в те, що відбувається, і вибухнув: «Резерфорд, це трансмутація!» — Резерфорд розлютився.

«Заради господа, Содді! — прогримів він.— Не називайте це трансмутацією. Вони повідривають нам голови як алхімікам!»

Зразок радону незабаром сприяв народженню ще більш захопливої науки. Резерфорд довільно назвав маленькі шматочки, що відлітали від радіоактивних атомів, альфа-частинками. (Він також виявив бета-частинки.) Виходячи з різниці у вазі між поколіннями елементів, що розпадалися, Резерфорд висловив припущення, що альфа-частинки насправді є атомами гелію, що відриваються й випливають, як бульбашки, крізь киплячу рідину. Якби це було правдою, елементи могли робити більше, ніж перескакувати дві комірки в періодичній таблиці, наче фішки в типовій настільній грі; якщо уран викидав гелій, елементи перестрибували з одного боку таблиці на інший, як унаслідок вдалого (або поганого) руху в дитячій грі.

Щоби перевірити цю ідею, Резерфорд попросив складувів свого фізичного факультету видути дві колби, як лампочки. Одна була тонка, наче мильна бульбашка, і він закачав у неї радон. Інша була товща й ширша, вона оточувала першу. Альфа-частинкам вистачало енергії, щоби пройти крізь першу скляну оболонку, але не через другу, тому вони потрапили, наче в пастку, у вакуумну порожнину між ними. За кілька днів це ще не був великий експеримент, оскільки захоплені альфа-частинки були безбарвними й насправді нічого не робили. Але тоді Резерфорд пропустив крізь порожнину струм

від акумулятора. Якщо ви колись їздили до Токіо чи Нью-Йорка, то знаєте, що сталося. Як і всі благородні гази, гелій світиться внаслідок збудження електрикою, а таємничі частинки Резерфорда починали світитися характерними для гелію зеленим і жовтим кольорами. Резерфорд передусім довів, що альфа-частинки — це вихідці з радону, атоми гелію з раннім «неоновим» світлом. Це був прекрасний приклад його елегантності, а також віри в ефектну науку.

Зі своїм типовим блиском Резерфорд оголосив про альфа-гелієвий зв'язок у промові під час вручення Нобелівської премії 1908 року. (Окрім того, що Резерфорд сам отримав премію, він виховав і навчив одинадцять майбутніх лауреатів, останнього було нагороджено 1978 року, за понад чотири десятиліття після смерті Резерфорда. Це був, мабуть, найбільш захопливий подвиг плодючості від часів Чингізхана, який породив сотні дітей на сім століть раніше.) Його висновки сп'янили нобелівську аудиторію.

Та найбільш безпосереднє й практичне застосування гелієвих робіт Резерфорда, мабуть, не зачепило багатьох у Стокгольмі. Проте, як віртуоз-експериментатор, Резерфорд знав, що справді великі дослідження не просто підтримують або спростовують певну теорію, але породжують нові експерименти. Наприклад, експеримент з альфа-гелієм дозволив йому зняти струп зі старої богословсько-наукової суперечки про справжній вік Землі.

Перше умовно аргументоване припущення цього віку було зроблено 1650 року, коли ірландський архієпископ Джеймс Ашер вивів його зі списку предків у Біблії («...і Серуг прожив тридцять років, і породив Нахора... і Нахор прожив дев'ять і двадцять років, і породив Тераха» тощо), обчисливши, що Бог розпочав створення землі 23 жовтня 4004 р. до н. е. Ашер робив усе, що міг, з наявними доказами, але протягом десятиліть більшістю в кожній науковій галузі було доведено, що ця дата сміховинно пізня. Фізики навіть змогли підкріпити свої здогадки точними цифрами, використовуючи рівняння термодинаміки. Фізики знали, що Земля постійно віддає тепло в космос, який є холодним (це подібно до того, як гаряча кава охолоджується в морозильній камері). Вимірюючи швидкість утрачання тепла та екстраполюючи назад, коли кожна гірська порода була розплавленою, вони могли оцінити дату походження Землі. Провідний учений XIX століття Вільям Томсон, відомий як лорд Кельвін, витратив десятки років на вивчення цієї проблеми й на-

прикінці 1800-х оголосив, що Земля народилася приблизно 20 млн років тому.

Це був тріумф людських міркувань — і майже такий само смертельно помилковий, як і здогадки Ашера. До 1900 року Резерфорд (серед інших) визнав, що хоч як далеко фізика випереджала інші науки за престижем і чарівністю (сам Резерфорд любив казати: «У науці існує *лише* фізика; усе інше — це колекціонування марок» — слова, від яких згодом мусив відмовитися, коли отримав Нобелівську премію з хімії), у цьому разі вона не почувалася добре. Чарлз Дарвін переконливо доводив, що люди не могли еволюціонувати з німих бактерій лише за двадцять мільйонів років, а послідовники шотландського геолога Джеймса Гаттона стверджували, що жодні гори чи каньйони не могли утворитися за такий короткий проміжок часу. Але ніхто не міг розплутати грандіозних обчислень лорда Кельвіна, поки Резерфорд не взявся шукати в уранових породах бульбашок гелію.

Усередині певних порід атоми урану випльовують альфа-частинки (які мають два протони) і трансмутують у дев'яностий елемент — торій. Потім торій породжує радій, випльовуючи ще одну альфа-частинку. У такий самий спосіб радій породжує радон, радон — полоній, полоній — стабільний свинець. Це було добре відоме послідовне розщеплення. Але завдяки цьому озарінню, як-от у Глазера, Резерфорд зрозумів, що після викидання ці альфа-частинки утворюють маленькі бульбашки гелію всередині порід. Ключове розуміння полягало в тому, що гелій ніколи не реагує та не поєднується з іншими елементами. Отже, на відміну від вуглекислого газу у вапняку, гелій зазвичай не повинен перебувати всередині порід. Тому будь-який гелій, що міститься всередині гірських порід, породжений радіоактивним розпадом. Багато гелію всередині скелі означає, що вона стара, тоді як мізерні сліди означають, що це «молодняк».

Резерфорд кілька років думав про цей процес — аж до 1904-го, коли йому було тридцять три, а Кельвіну — вісімдесят. У цьому віці, попри все, що Кельвін зробив для науки, його розум затуманився. Минули ті часи, коли він міг запропонувати нові захопливі теорії, на зразок тієї, що всі елементи періодичної таблиці були на своїх найглибших рівнях скрученими «вузлами ефіру» різної форми. Найбільш згубним для теорій Кельвіна було те, що він ніколи не зміг

додати тривожну, навіть лячну науку про радіоактивність до свого світогляду. (Ось чому Марія Кюрі якось і його потягнула до шафи, щоби показати «її світло, що світиться в темряві»,— або навчити його.) На відміну від нього, Резерфорд зрозумів, що радіоактивність у земній корі генерує додаткове тепло, і це руйнує теорію старого про прості втрати тепла в космос.

Захоплений можливістю викласти свої ідеї, Резерфорд улаштував лекцію в Кембриджі. Але хай яким старим диваком здавався Кельвін, він усе ще лишався силою в науковій політиці, тож знищення розрахунку, яким так пишався цей патріарх, могло загрожувати кар'єрі Резерфорда. Ернест розпочав промову насторожено, але, на його щастя, одразу після того, як він почав, Кельвін заснув у першому ряду. Резерфорд поспішив дійти до своїх висновків, але коли він почав вибивати підпірки з-під роботи Кельвіна, старий сів рівніше, оновлений і бадьорий.

Спійманий на сцені, на очах у всіх, Резерфорд раптом згадав про відкинуту лінію, яку прочитав у роботі Кельвіна. У ній типовою обережною науковою мовою говорилося, що розрахунки Кельвіна щодо віку Землі були правильними, якщо *хтось не виявить додаткові джерела тепла* всередині планети. Резерфорд згадав це застереження, зазначив, що таким прихованим джерелом може бути радіоактивність, і з майстерним вивертом проголосив експромтом, що Кельвін передбачав відкриття радіоактивності десятки років тому. Який геній! Осяяний старий оглянув присутніх. Він уважав, що Резерфорд повний лайна, але не збирався ігнорувати комплімент.

Резерфорд сидів тихо, поки Кельвін не помер 1907 року, а тоді швидко довів зв'язок гелію з ураном. І тепер, коли жодна політика його не зупиняла,— насправді, він сам став видатним ученим (а згодом навіть отримав наукове роаялті — комірку в періодичній таблиці, елемент сто чотири, резерфордій) — можливий лорд Резерфорд дістав трохи дуже давньої уранової породи, видобув гелій із мікроскопічних бульбашок усередині і визначив, що Землі щонайменше 500 млн років — у двадцять п'ять разів більше, ніж припускав Кельвін, і лише на один порядок менше від перших коректних розрахунків. Протягом декількох років геологи з більшим досвідом дослідження порід узялися за Резерфордові зразки і визначили: гелієві кишені доводять, що Земля має віку не менше двох мільярдів років. Це число все ще було на 50 % менше від реального,

але завдяки крихітним інертним бульбашкам усередині радіоактивних порід люди нарешті почали стикатися з приголомшливим віком космосу.

Після Резерфорда пошуки дрібних бульбашок елементів у зразках породи стало стандартною роботою в геології. Особливо плідним підходом є використання циркону, мінералу, що містить цирконій, який є порушником спокою хазяїв ломбардів та дешевим заміником ювелірних виробів.

З хімічних причин циркони дуже витривалі — цирконій розташований у періодичній таблиці нижче титану і не дарма породжує переконливі фальшиві діаманти. На відміну від м'яких порід, як-от вапняк, багато цирконів збереглися від перших років існування Землі, часто як тверді зерна маку всередині більших каменів. Завдяки своїй унікальній хімії, під час утворення в давні часи кристали циркону збирали бродячий уран і упаковували його в атомні бульбашки всередині себе. Водночас циркони мали відразу до свинцю й витискали цей елемент (на відміну від того, що роблять метеори). Звичайно, це тривало недовго, оскільки уран перетворюється на свинець, але циркони мали проблеми з обробкою свинцевих шматочків. Як наслідок, будь-який свинець усередині свинцевофобних цирконів сьогодні безумовно є дочірнім продуктом урану. Наразі ця історія вже має бути зрозумілою: вимірюючи співвідношення свинцю та урану в цирконах, ми ніби креслимо графік віддаленості від нульового року. Щоразу, коли ви чуєте, як учені оголошують про «найстарішу породу у світі» — імовірно, з Австралії чи Гренландії, де циркони існують найдовше, — будьте певні, що для визначення дати вони використовували уранові бульбашки в цирконі.

Інші галузі науки також прийняли бульбашки як парадигму. Глазер почав експериментувати зі своєю бульбашковою камерою в 1950-х, і приблизно тоді ж фізики-теоретики, як-от Джон Арчибальд Вілер, почали говорити про Всесвіт на найнижчому фундаментальному рівні як про піну. Вілер мріяв, що в такому масштабі, у мільярди трильйонів разів дрібнішому за атомний, «склоподібний гладкий простір-час атомного та частинкового світів поступиться місцем... Там буквально не буде лівого та правого, до та після. Сама ідея довжини зникне. Звичайні уявлення про час випаруються... Для

такого стану речей я не можу придумати кращої назви, ніж квантова піна». Деякі космологи сьогодні обчислили, що весь наш Усесвіт вибухнув, коли один субмікронанопузір вислизнув із цієї піни й почав експоненційно збільшуватися. Це дійсно красива теорія, і вона багато чого пояснює — крім, на жаль, того, чому це могло статися.

За іронією долі, квантова піна Вілера веде свій інтелектуальний родовід від останнього великого представника класичної фізики, що вивчав повсякденний світ, лорда Кельвіна. Кельвін не винайшов науки про піни — це зробив сліпий бельгієць із придатним ім'ям (беручи до уваги, наскільки слабкий вплив мала його робота) Жозеф Плато. Але Кельвін усе ж популяризував науку, кажучи, що міг би все життя перевіряти одну мильну бульбашку. Це насправді було хитро, оскільки, згідно з його лабораторними зошитами, Кельвін сформулював схему своєї роботи з бульбашками одного лінивого ранку в ліжку й написав на цю тему лише одну коротку статтю. І все-таки є чудові історії про те, як цей білобородий вікторіанський професор плюскається в басейні з водою та гліцерином із чимось схожим на мініатюрний ковшик із пружиною, створюючи колонії зв'язаних між собою квадратних бульбашок, як Рерун із коміксів «Арахіс».

Додамо, що робота Кельвіна набрала обертів та надихнула на справжню науку майбутні покоління. Біолог Дарсі Вентворт Томпсон застосував теорему Кельвіна про утворення бульбашок до розвитку клітин у своїй основоположній книжці 1917 року «Про зростання та форму», яку колись називали «найкращою літературною роботою у всіх наукових аналах, записаною англійською мовою». Саме від цього моменту розпочалася сучасна галузь клітинної біології. Ба більше, останні біохімічні дослідження підказують, що бульбашки могли бути ефективною причиною самого життя. Перші складні органічні молекули могли утворитися не в бурхливому океані, як заведено думати, а у водяних бульбашках, що потрапили в арктичні льодовикові щити. Вода досить важка, і коли вона замерзає, то подрібнює розчинені «домішки», як-от органічні молекули, усередині бульбашок. Концентрація та стиснення в цих бульбашках могли бути досить високими, щоби злити ці молекули в самовідтворювальні системи. Крім того, визнавши хороший трюк, звідтоді природа займалася плагіатом — використовувала вже випробувані креслення бульбашок. Незалежно від того, де утворилися перші органічні молекули — у льоду чи океані,— перші примітивні клітини,

безумовно, були схожими на бульбашки структурами, що оточували білки, РНК чи ДНК і захищали їх від змивання або розмивання. Навіть сьогодні, чотири мільярди років по тому, клітини все ще мають базовий дизайн бульбашок.

Робота Кельвіна надихнула і військову науку. Під час Першої світової війни інший лорд, лорд Релей, вирішив нагальну проблему воєнного часу: чому гребні гвинти підводних човнів так схильні до зношування та руйнування, хоча решта корпусу залишається нешкодженою. Виявилось, що бульбашки, які створюються обертовими гвинтами, поверталися й атакували металеві лопаті, як цукор атакує зуби, і з таким же корозійним результатом. Підводна наука також призвела до чергового прориву в дослідженні бульбашок — хоча на той час ця знахідка здавалася неперспективною, навіть сумнівною. Завдяки пам'яті про німецькі підводні човни у 1930-х вивчення ехолотів — засобів виявлення звукових хвиль, що рухаються у воді, — було настільки ж модним, як раніше радіоактивність. Принаймні дві дослідницькі групи виявили: якщо впливати на об'єкт звуковими хвилями рівня реактивного двигуна, бульбашки, що з'являються, іноді руйнуються й підморгують спалахом синього або зеленого світла. (Це наче розкусувати зелені льодяники «Лайфсейверс» у формі рятувального круга в темній шафі.) Більше зацікавлені в підриванні підводних човнів, учені не вивчали так званої сонолюмінесценції, але протягом п'ятдесяти років вона була науковим фокусом, який передавався з покоління в покоління.

І все могло б залишитися саме так, якби не один колега, що глузував із Сета Путтермана одного дня в середині 1980-х. Путтерман вивчав у Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі динаміку рідин, дивовижно хитру галузь. У певному сенсі науковці більше знають про віддалені галактики, ніж про турбулентні водянні потоки, що струменять каналізаційними трубами. Колега дражнив Путтермана з приводу його незнання, нагадуючи, що подібні до Сета навіть не можуть пояснити, як звукові хвилі перетворюють бульбашки на світло. Путтерман вирішив, що це якась міська легенда. Але, проглянувши наявні мізерні дослідження щодо сонолюмінесценції, він закинув свою попередню роботу, щоби повністю віддатися вивченню миготливих бульбашок*.

Для перших, на диво низькотехнологічних експериментів Путтерман установив склянку з водою між двома стереодинаміками,

які було налаштовано на частоти собачого свистка. Нагрітий дріт тостера в склянці виштовхував бульбашки, а звукові хвилі захоплювали їх і ганяли у воді. Потім почалася весела частина. Звукові хвилі варіюють між безплідними западинами низької інтенсивності та вершинами високої інтенсивності. Крихітні захоплені бульбашки відповідали на низький тиск, роздуваючись у тисячу разів, як повітряна куля, що заповнює кімнату. Після того спадання звукової хвилі вривався фронт високого тиску й зменшував об'єм бульбашок в півмільйона разів із силами, що в 100 млрд разів перевищували силу тяжіння. Не дивно, що таке розчавлювання наднової створювало моторошне світло. Найдивовижніше, що, попри стиснутість у «сингулярність» — термін, який рідко використовується поза вивченням чорних дір,— бульбашка залишається цілою. Після припинення дії тиску бульба знову роздувається, цілісінька, ніби нічого не сталося. Потім вона знову зменшується і так далі, і цей процес повторюється тисячі разів на секунду.

Незабаром Путтерман придбав більш досконале обладнання, ніж його початкова установка для гаражного рок-гурту, і, зробивши це, наштовхнувся на періодичну систему. Щоби визначити, що саме спричинило виблискування бульбашок, він почав пробувати різні гази. І виявив: хоча бульбашки простого повітря виробляють приємні спалахування синього та зеленого кольору, чисті азот та кисень, які в сукупності складають 99 % повітря, не будуть сонолюмінесціювати, незалежно від того, до якої гучності чи пронизливості він перекрутить звук. Стурбований, Путтерман почав перекачувати сліди газів з повітря назад у бульбашки, поки не знайшов елемент-«кремій» — аргон.

Це було дивно, оскільки аргон — інертний газ. Ба більше, єдиними іншими газами, з якими Путтерман і зрослий штат науковців могли працювати, були важчі хімічні родичі аргону — криптон і особливо ксенон. Насправді, коли їх розхитували звуковими хвилями, ксенон і криптон спалахували ще яскравіше від аргону, утворюючи «зірки в банці», які сичали у воді за температури 35 000 °F (19 500 °C) — набагато спекотніше, ніж на поверхні Сонця. І це бентежило. Ксенон і криптон часто використовують у промисловості для придушення пожеж або реакцій, що звертають кудись не туди, і не було підстав думати, що ці тьмяні інертні гази можуть утворювати такі інтенсивні бульбашки.

Хіба що їхня інертність є прихованою активністю. Кисень, вуглекислий газ та інші атмосферні гази, що перебувають усередині бульбашок, можуть використовувати енергію, яка надходить від джерела звуку, для поділу або взаємодії між собою. З погляду сонолюмінесценції, ця енергія розсіяна. Однак деякі вчені вважають, що інертні гази під високим тиском не можуть не вбирати сонарну енергію. І, не маючи жодних шляхів її розсіяти, бульбашки ксенону чи криптону руйнуються, тому їм не залишається іншого вибору, як розповсюджувати та концентрувати енергію в ядрах бульбашок, отже, нереактивність благородних газів є запорукою сонолюмінесценції. Хай якою є причина, зв'язок із сонолюмінесценцією переписе розуміння того, що означає бути інертним газом.

На жаль, спокусившись використати таку високу енергію, деякі вчені (зокрема Путтерман) пов'язали цю тендітну науку про бульбашки з настільним синтезом, двоюрідним братом улюблениці всіх часів — патологічної науки. (Оскільки задіяно високі температури, це не є холодний синтез.) Давно існує непевне припущення про зв'язок між бульбашками та синтезом — частково тому, що Борис Дерягін, впливовий радянський учений, який вивчав стабільність піни, дуже вірив у холодний синтез. (Якось у немислимому експерименті, що був антитезою одного з дослідів Резерфорда, Дерягін нібито намагався викликати холодний синтез у воді, стріляючи в неї з автомата Калашникова.)

Сумнівний зв'язок між сонолюмінесценцією та синтезом («соносинтез») був чітко висловлений 2002 року, коли журнал *Science* опублікував радіоактивно суперечливу статтю про ядерну енергію, керовану сонолюмінесценцією. Незвично, що *Science* визнав у редакційній колонці, що багато старших науковців вважали статтю хибною, якщо не шахрайською; навіть Путтерман рекомендував журналу відхилити її. *Science* все одно її надрукував (можливо, аби кожен купив екземпляр, щоби побачити, через що така суєта). Пізніше Палата представників США притягнула головного автора статті до відповідальності за підробку даних.

На щастя, наука про бульбашки мала досить міцну основу*, щоби пережити цю ганьбу. Зараз фізики, які цікавляться альтернативною енергією, моделюють надпровідники з бульбашками. Патологи описують СНІД як «пінистий» вірус, оскільки заражені клітини набухають перед вибухом.

Ентомологи знають про комах, які використовують бульбашки як водолазні пристрої, щоби дихати під водою, а орнітологи знають, що металевий блиск розкішного хвоста павичів походить від світлорозсіювальних бульбашок у пір'ї. Найважливіше сталося в галузі харчових наук, коли 2008 року студенти Аппалацького державного університету нарешті визначили, що змушує дієтичну колу вибухати, коли ви кидаєте в неї драже *Mentos*. Бульбашки. Зерниста поверхня цукерок *Mentos* виконує роль сітки, щоби зачепити дрібні розчинені бульбашки та поєднати їх у великі. Зрештою, кілька гігантських бульбашок відокремлюються, ракетою злітають угору й пробиваються крізь сопло, підскакуючи до двадцяти чарівних футів (тобто аж шести метрів). Це відкриття, безсумнівно, було найбільшим моментом у науці про бульбашки від того дня, коли понад п'ятдесят років тому Дональд Глазер дивився на своє світле пиво і мріяв зруйнувати періодичну систему.

18

Інструменти смішної точності

⁷⁸ Pt 195.085	³⁶ Kr 83.798	⁵⁵ Cs 132.905	⁹² U 238.029	⁶² Sm 150.362	²⁴ Cr 51.996	¹⁰⁰ Fm (257)	¹² Mg 24.305
--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

Подумайте про найметушливішого вчителя з наукової дисципліни, якого ви будь-коли мали. Того, хто занижив вашу оцінку, бо шостий десятковий знак у вашій відповіді був неправильно округлений; хто носив футболку з періодичною таблицею, виправляв кожного студента, який говорив «вага», коли мав на увазі «масу», і змушував усіх, зокрема себе, надягати захисні окуляри навіть під час розмішування цукрової води. А тепер спробуйте уявити когось, кого той ваш учитель ненавидів би за придирливість і занудство. Саме такі люди працюють у бюро стандартів та вимірювань.

У більшості країн існує бюро стандартів, завданням якого є вимірювання всього — від того, скільки насправді становить секунда, до того, скільки ртуті ви можете спокійно споживати в яловичій печінці (дуже мало, за даними Національного інституту стандартів і технології США, або *NIST*). Для вчених, які працюють у бюро стандартів, вимірювання — це не просто практика, що робить науку можливою; це і є сама наука. Прогрес у будь-якій кількості галузей, від пост-айнштайнівської космології до астробіологічного полювання за життям на інших планетах, залежить від нашої здатності робити все точніші виміри на основі все менших уривків інформації.

З історичних причин (французькі просвітителі були фанатиками), *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), тобто «Міжнародне бюро мір та ваг», що неподалік від Парижу, є стандартом усіх бюро стандартів, забезпечуючи, щоб усі «франшизи» не відхилялися від еталона. Одним із найбільш дивовижних завдань BIPM є догляд за «міжнародним прототипом кілограма» — офіційним світовим кілограмом. Це циліндрична гиря діаметром і заввишки 39 мм зі сплаву 90 % платини та 10 % іридію, маса якої, за визначенням, становить рівно 1,000000... кг (з якою захочете кількістю десяткових знаків). Я сказав би, що це близько двох фунтів, але тоді відчував би вину за неточність.

Оскільки «кілограм» є фізичним об'єктом і, отже, може бути пошкодженим, а ще тому, що визначення кілограма повинно залишатися незмінним, BIPM мусить бути переконаний, що той ніколи не подряпається, ніколи не приверне пилінки, ніколи не втратить (бюро сподівається!) жодного атома. Бо якщо щось із цього трапиться, його маса може зрости до 1,000000...1 кг або впасти до 0,999999...9 кг, і сама така можливість спричиняє виразки шлунку в BIPM. Тож, як параноїдальні матері, вони постійно стежать за температурою еталона та тиском навколо нього, щоби запобігти навіть мікроскопічному здуттю живота або стисканню,— стресу, який може відшаровувати атоми. Його також сповивають у три послідовно більші ковпаки, щоби запобігти конденсації вологи на поверхні та виходу нанорозмірної плівки. А виготовляється «кілограм» зі щільної платини (та іридію), щоби мінімізувати поверхню, яка зазнає дії неприпустимо брудного повітря, такого, яким ми дихаємо... Також платина добре проводить електрику, що зменшує накопичення «паразитичної» статичної електрики (вислів BIPM), яка може спричинити розбігання атомів.

Нарешті, в'язкість платини зменшує шанс катастрофічного нігтя в рідкісних випадках, коли люди насправді кладуть руку на еталон. Інші країни потребують власного офіційного 1,000 000... циліндра, щоби уникнути необхідності летіти до Парижу щоразу, коли схочуть щось точно виміряти, а оскільки «кілограм» є стандартом, копія кожної країни має бути порівняна з цим. У США є офіційний кілограм під назвою K20 (тобто двадцята офіційна копія), який зберігається в урядовому будинку в передмісті штату Меріленд і калібрований

лише один раз з 2000 року, і вже час для ще одного калібрування, зазначає Зейна Джаббур, керівник відділу мас і сил *NIST*. Але калібрування — це багатомісячний процес, і норми безпеки з 2001 року перетворили перевезення K20 літаком до Парижу на нескінчений біг із перешкодами. «Ми мусимо тримати футляр еталоном у руках протягом польоту,— каже Джаббур,— і важко пройти охорону та митницю з цим шматком металу й казати людям, що його не можна торкатися». За її словами, навіть відкриття спеціальної в'їзди K20 у «запиленому аеропорту» може його скомпрометувати, «і якщо хтось наполягатиме на доторканні до нього, це буде кінцем калібрування».

Зазвичай *VIPM* використовує для калібрування Національних копій одну із шести офіційних копій «кілограма» (кожна зберігається під двома ковпаками). Але офіційні копії слід вимірювати за особливим стандартом, тому кожні кілька років учені виймають «кілограм» із його сховища (звичайно, використовуючи щипці та одягаючи латексні рукавички, щоби не залишати відбитків пальців,— але не припорошені тальком рукавички, оскільки це може залишити осад, і не тримаючи його занадто довго, бо температура людського тіла може його нагріти і все зіпсувати) і відкалібровують калібратори*. Насторожує, що під час калібрувань у 1990-х учені зауважили, що, навіть урахувавши атоми, які стираються, коли люди торкаються еталона, за останні кілька десятиліть «кілограм» утратив масу, яка дорівнює масі відбитка пальця (!),— пів мікрограма на рік. Ніхто не знає, чому так сталося.

Неможливість — саме так! — підтримувати «кілограм» абсолютно постійним поновила дискусії про остаточну мрію кожного вченого, який одержимий еталоном: вивести його із вжитку. Приблизно від 1600 року наука багато в чому зобов'язана своїм прогресом тому, що за можливості приймає об'єктивний, не зосереджений на людині погляд на Всесвіт. (Це називається принцип Коперника, або, менш приємно, принцип посередності.) Кілограм є однією із семи «базових одиниць» вимірювання, які стосуються всіх галузей науки, і для жодної з цих одиниць більше не прийнятно базуватися на людському артефакті, особливо якщо він таємничо скорочується.

Мета кожного підрозділу, як зухвало висловлюється Бюро національних стандартів Великої Британії, полягає в тому, щоб один учений міг надіслати своє визначення колезі на іншому

континенті електронним листом і той колега мав можливість відтворити щось саме з такими розмірами, виходячи лише з опису в цьому листі. Але «кілограм» неможливо надіслати електронною поштою, і ніхто ще не придумав визначення, більш надійного, ніж той присадкуватий, блискучий, розпечений циліндр у Парижі. (Або якщо такі пропозиції є, вони практично неможливі — наприклад, підрахувати трильйони трильйонів атомів,— чи вимагають занадто точних вимірювань, недоступних сьогодні навіть для найкращих приладів.) Неможливість розв'язати загадку кілограма, щоби зупинити зменшення еталона чи то в якийсь спосіб вивести його з ужитку, робить цю ситуацію все більшим джерелом міжнародної тривоги та збентеження (принаймні для нас, придириливих зануд).

Проблема стала ще гострішою, бо кілограм є останньою базовою одиницею, пов'язаною з обмеженими можливостями людини. Платиновий стрижень у Парижі визначав 1,000000... м протягом більшої частини ХХ століття, аж поки 1960 року вчені не змінили його визначення за допомогою атома криптону, установивши його як 1 650 763,73 довжини хвилі червоно-оранжевого світла від атома криптону-86. Ця відстань практично ідентична довжині старого стрижня, але таке визначення зробило стрижень непотрібним, оскільки зазначена кількість довжин хвиль криптонового світла розтягнулася б на однакову відстань у будь-якому вакуумі де завгодно. (Оце визначення, яке можна надіслати електронною поштою!) Відтоді вчені-вимірювачі (метрологи) дали метру (це близько трьох футів) ще новіше визначення: метр — це відстань, яку проходить світло у вакуумі за $1/299\,792\,458$ секунди.

У подібний спосіб офіційним визначенням секунди було «приблизно $1/31\,556\,992$ однієї подорожі навколо Сонця» (у знаменнику — кількість секунд за 365,2425 днів). Але кілька настирливих фактів зробили цей стандарт незручним. Тривалість року — не просто календарного, а астрономічного — змінюється з кожною «поїздкою» Землі орбітою навколо Сонця. Причина — океанські припливи, які розтягують земну орбіту й уповільнюють рух Землі нею.

Щоби виправити це, метрологи підсовують «високосну» секунду приблизно кожного третього року, зазвичай коли ніхто не звертає уваги, опівночі 31 грудня. Але корекційні секунди — потворне, «пожежне» рішення. Тому, замість прив'язати нібито універсальну

одиницю часу до транзиту нічим не примітного каменю навколо забутої зорі, американське бюро стандартів розробило атомні годинники на основі цезію.

Атомні годинники працюють на тих самих стрибках і збоях збуджених електронів, про які ми вже говорили раніше. Але вони також використовують і більш тонкий рух, «тонку структуру» електронів. Якщо звичайний стрибок електрона нагадує співака, який перестрибує із соль однієї октави на соль іншої, тонка структура нагадує стрибок із соль до соль-бемоль або соль-діез. Ефекти тонкої структури найбільш помітні в магнітних полях, і вони спричинені речами, котрі можна сміливо ігнорувати, якщо не опинитесь в щільному курсі фізики високого рівня,— наприклад, магнітні взаємодії між електронами та протонами чи корекції через відносність Айнштейна. Наслідок полягає в тому, що після цих точних налаштувань* кожен електрон стрибає або трохи нижче (соль-бемоль), або трохи вище (соль-діез), ніж очікувалося.

Електрон «вирішує», який стрибок зробити, виходячи зі свого внутрішнього спіну, тому в послідовних стрибках один електрон ніколи не потрапляє з «діеза» на «бемоль». Щоразу чи те, чи те. Усередині атомних годинників, схожих на високі, худі пневматичні трубки, магніт продуває всі атоми цезію, зовнішні електрони яких стрибають на один рівень, назвемо його соль-бемоль. Це залишає лише атоми із соль-дієзними електронами, які збираються в камеру і збуджуються інтенсивними мікрохвилями. Це призводить до того, що цезієві електрони стрибають (тобто підскакують і падають назад) і випромінюють фотони світла. Кожен підскок угору-вниз еластичний і завжди триває однаковий (надзвичайно короткий) проміжок часу, тому атомний годинник може вимірювати час, просто підраховуючи фотони. Дійсно, не має значення, витіснятимете ви соль-бемольні чи соль-дієзні електрони, якісь із них вам доведеться прибрати в будь-якому разі, тому що перехід на той чи інший рівень триває різний час, і в масштабах, з якими працюють метрологи, така відмінність є неприйнятною.

Цезій виявився зручним у ролі основної пружини для атомних годинників, оскільки на його зовнішній оболонці є один електрон, а поблизу немає інших електронів, щоб оточити й приглушити його. Важкі й громіздкі атоми цезію є легкою здобиччю для мазера, який смикає їх так само. Проте навіть у вайлуватому й неспішному атомі

цезію зовнішній електрон лишається парубком моторним. Для нього секунда широченна, як Міссісіпі, і він встигає за її безмежну протяжність виконати не якихось там кілька десятків чи навіть тисяч рухів туди-сюди — аж ніяк! — він їх виконує рівно 9 192 631 770! Учені обрали отаке громіздке число. А чому? Могли б припинити підрахунок на 9 192 631 769 або ж продовжити до 9 192 631 771. Річ у тім, що саме воно відповідало їхнім найкращим здогадкам про секунду в 1955 році, коли було побудовано перший цезієвий годинник. (Попри це, число 9 192 631 770 зафіксовано.) Воно є першим визначенням базової одиниці, яке досягло універсальної електронної доступності і навіть допомогло звільнити метр від платинового стрижня після 1960 року.

Учені прийняли цезієвий стандарт як офіційну світову міру часу в 1960-х, замінивши астрономічну секунду, і хоча цезієвий стандарт приніс користь науці, забезпечуючи точність і порівнянність у всьому світі, людство, безперечно, щось утратило. Ще задовго до древніх єгиптян та вавилонян люди використовували зорі та сезони року, щоби відстежувати час і фіксувати найважливіші моменти свого життя. Цезій розірвав цей зв'язок із небом, знищив його так само впевнено, як міські ліхтарі затьмарили для нас сузір'я. Хоч яким тонким елементом є цезій, йому не вистачає міфічної чарівності Місяця або Сонця. Крім того, навіть аргумент за перехід на цезій — його універсальність, оскільки цезієві електрони будуть вібрувати з однаковою частотою в кожному закутку Всесвіту, — більше не може бути безпечною ставкою.

* * *

Якщо існує щось глибше, ніж любов математика до змінних, то це його любов до констант. Заряд електрона, сила тяжіння, швидкість світла — незалежно від експерименту, незалежно від обставин ці параметри ніколи не змінюються. Якби вони це зробили, ученим довелося б відмовитися від точності, що відокремлює «тверді» науки від суспільних, як-от економіка, де примхи та чистий людський ідіотизм унеможливають універсальні закони.

Ще більш спокусливими для вчених є фундаментальні константи, більш абстрактні та універсальні. Очевидно, що числове значення розміру частинки або швидкості зміниться, якщо ми довільно вирішимо, що метри повинні бути довшими, або якщо

кілограм раптово зменшиться (гм!). Однак фундаментальні константи не залежать від вимірювання. Як і π , це чисті, фіксовані числа, і, подібно до π , вони з'являються у всіляких контекстах, які здаються спокусливими для пояснення, але дотепер опиралися всім поясненням.

Найвідомішою безрозмірною константою є константа тонкої структури, яка пов'язана з кінцевим розщепленням електронів. Коротше кажучи, вона контролює, наскільки тісно негативні електрони пов'язані з позитивним ядром. А ще вона визначає силу деяких ядерних процесів. Насправді, якби константа тонкої структури — яку я називатиму альфа, бо саме так її називають учені,— була трохи меншою одразу після Великого вибуху, ядерний синтез у зорях ніколи не нагрів би їх настільки, щоби плавити вуглець. І навпаки, якби альфа була трохи більшою, то атоми вуглекислого газу розпалися б багато років тому, задовго до того, як потрапити в нас. Те, що альфа уникала цієї атомної Сцилли й Харибди, природно робить учених вдячними, але також дуже мучить, оскільки вони не можуть пояснити, як це вдалося. Навіть добрий і завзятий атеїст фізик Річард Фейнман якось сказав про константу тонкої структури таке: «Усі добрі теоретичні фізики вішають це число на свою стіну й турбуються про нього... Це одна з найпроклятіших загадок фізики: магічне число, яке приходить до нас без розуміння людиною. Можна сказати, що це число написала "рука Божа", і ми не знаємо, як Він рухав Свій олівець».

В історичному плані це не заважало людям намагатися розшифрувати це наукове «мене, мене, текел, упарсин». Англійський астроном Артур Еддінгтон, який під час сонячного затемнення 1919 року надав перший експериментальний доказ теорії відносності Айнштейна, захопився альфою. Еддінгтон мав схильність, навіть треба сказати, талант до нумерології*, і на початку 1900-х, коли альфу було виміряно й вона склала близько $1/136$, Еддінгтон почав вигадувати «докази», що альфа дорівнює рівно $1/136$ — частково тому, що він знайшов математичний зв'язок між 136 і 666. (Один колега глузливо запропонував йому переписати «Одкровення Іоанна Богослова», щоби врахувати цю «знахідку».) Пізніші виміри показали, що альфа була ближче до $1/137$, але Еддінгтон просто додав одиницю десь у свої формули й продовжував далі, ніби його нумерологічний пісочний замок не розвалився (що принесло йому безсмертне

прізвисько сер Артур Додай-Один)¹. Друг, що якось наткнувся на Еддінгтона в гардеробі в Стокгольмі, був збентежений, побачивши, що він наполягає на тому, аби повісити капелюх на кілок 137.

Сьогодні альфа дорівнює $1/137,0359$ або близько того. Незалежно від точності, її значення робить можливою періодичну систему. Це дозволяє атомам існувати, а також реагувати з достатньою енергією, утворюючи сполуки, оскільки електрони блукають занадто вільно від своїх ядер, а не чіпляються до них занадто тісно. Цей рівноважний баланс призвів до того, що багато вчених дійшли висновку: Усесвіт не міг випадково натрапити на свою константу тонкої структури. Теологи, більш чіткі у формулюваннях, кажуть: альфа доводить, що Творець «запрограмував» Усесвіт на отримання як молекул, так і, можливо, життя. Ось чому це було настільки великою справою 1976 року, коли радянський (нині американський) учений на ім'я Олександр Шляхтер детально вивчив украй дивне місце в Африці під назвою Окло й заявив, що альфа, фундаментальна та незмінна константа Всесвіту, стає все більшою.

Окло — галактичне диво: єдиний відомий природний ядерний реактор. Він виник близько 1,7 млрд років тому, і коли 1972 року французькі шахтарі розкопали цю сплячу ділянку, це викликало науковий вибух. Деякі вчені стверджували, що Окло не могло статися, тоді як певні крайні групи накинулися на Окло як «доказ» улюблених дивовижних гіпотез, як-от давно втрачені африканські цивілізації та аварійні посадки ядерних інопланетних крейсерів. Насправді, як визначили вчені-ядерники, Окло не живився нічим іншим, крім урану, води та синьозелених водоростей (тобто піни зі ставків). Це дійсно так. Водорості в річці поблизу Окло виробляли надлишок кисню після фотосинтезу. Кисень робив воду настільки кислою, що вона, стікаючи під землю крізь пухкий ґрунт, розчиняла уран у гірських породах. Тоді весь уран мав вищу концентрацію готового до бомб ізотопу урану-235 — близько 3 % (сьогодні 0,7 %). Отже, коли підземні водорості фільтрували цю насичену ураном воду, він концентрувався в одному місці, досягаючи критичної маси.

Але самої лише критичної маси було недостатньо. Загалом, для того щоб відбулася ланцюгова реакція, ядра урану повинні не тільки

¹ Sir Arthur Adding-One як аллюзія до його справжнього імені — Sir Arthur Eddington.— Прим. перекл.

отримувати удари нейтронів — вони повинні їх поглинати. Під час розщеплення чистого урану його атоми викидають «швидкі» нейтрони, які відбиваються від сусідів, наче вдало кинуті камінці, що стрибають по воді. Це переважно холості, марно витрачені нейтрони. Уран Окло став ядерним лише тому, що річкова вода сповільнювала нейтрони настільки, що сусідні ядра могли їх захопити. Без води реакція ніколи б не розпочалася.

Але є ще дещо. Очевидно, що поділ також виробляє тепло. І причина того, що сьогодні в Африці немає великого кратера, полягає в тому, що коли уран нагрівся, він закип'ятив воду. Не маючи води, нейтрони стають занадто швидкими, щоб ядра могли їх поглинати, і процес уповільнюється аж до зупинки. Тільки коли уран охолонув, вода знову потекла, що уповільнило нейтрони і знов запустило реактор. Це був такий собі саморегульований ядерний гейзер Старий служака, що спожив понад 6000 тонн урану протягом 150 000 років на шістнадцяти ділянках навколо Окло за цикли увімкнення/вимкнення по 150 хвилин.

Як учені склали цю історію до купи за 1,7 млрд років по тому? За допомогою елементів. Елементи ретельно перемішуються в земній корі, тому співвідношення різних ізотопів скрізь має бути однаковим. В Окло концентрація урану-235 була на 0,003–0,3 % менше норми — величезна різниця. Але що визначило, був Окло природною ядерною установкою чи залишками контрабандної операції для негідників-терористів, — це надмірна кількість марних елементів, як-от неодим. Неодим переважно існує в трьох різновидах з парними номерами — 142, 144 і 146. Реактори з поділом урану виробляють непарний неодим у вищих кількостях, ніж зазвичай. Фактично, коли вчені проаналізували концентрацію неодиму в Окло і відняли природний неодим, то виявили, що ядерний «підпис» Окло відповідає сучасному реактору, створеному людиною. Дивовижно.

І все-таки, якщо неодим відповідав теорії, інші елементи — ні. Коли 1976 року Шляхтер порівняв ядерні відходи Окло із сучасними відходами, він виявив, що деяких видів самарію утворилося занадто мало. Само собою це не так захопливо. Але ядерні процеси мають приголомшливий ступінь відтворення; елементи, як-от самарій, не утворюються не просто так. Тож відхилення в кількості самарію натякнуло Шляхтеру, що щось тут не так. Зробивши неймовірний стрибок думки, він підрахував, що якби константа тон-

кої структури була лише на частку менша, коли Окло став ядерним, розбіжності було б легко пояснити. У цьому він нагадував індійського фізика Бозе, який не стверджував, що знає, чому його «неправильні» рівняння щодо фотонів так багато пояснюють; він лише знав, що вони це роблять. Проблема полягала в тому, що альфа — фундаментальна константа. Вона *не може* змінюватися, незалежно від фізики. Що ще гірше для декого, якщо альфа варіює, мабуть, ніхто (або навіть Ніхто) не «налаштував» її, щоби врешті-решт створити життя.

Із такими ставками на кону багато науковців, починаючи з 1976 року, переосмислювали та оскаржували зв'язок альфа — Окло. Зміни, які вони вимірюють, настільки малі, а геологічна історія за ці 1,7 млрд років така фрагментарна, що, здається, навряд чи хтось колись доведе щось остаточне стосовно альфи, спираючись на дані Окло. Але ніколи не недооцінюйте значення проголошеної ідеї. Робота Шляхтера щодо самарію активізувала десятки амбітних фізиків, які хотіли прикінчити старі теорії, і вивчення зміни констант зараз є активною сферою. Одним із поштовхів для цих учених стало усвідомлення того, що навіть якщо альфа дуже мало змінилася за «лише» 1,7 млрд років, вона могла швидко змінюватися протягом перших мільярдів років Усесвіту, часів первісного хаосу. Власне кажучи, після дослідження зоряних систем, званих квазарами, та міжзоряних хмар пилу деякі австралійські астрономи* почали стверджувати, що виявили перші реальні докази нестабільності.

Квазари — це чорні діри, які роздирають і канібалізують інші зорі. Це насильство вивільняє незлічену кількість світлової енергії. Звичайно, коли астрономи збирають це світло, вони дивляться не на події в режимі реального часу, а на події, що відбулися дуже давно — адже світлу потрібен час, щоби перетнути Всесвіт. Тож австралійці вивчили, як величезні шторми міжзоряного космічного пилу впливали на проходження давнього квазарного світла. Коли світло проходить крізь пилову хмару, випарені елементи в хмарі поглинають його. Але на відміну від чогось непрозорого, що поглинає все світло, елементи в хмарі поглинають світло на певних частотах. Ба більше, подібно до атомних годинників елементи поглинають світло не одного вузького кольору, а двох дуже тонко розділених кольорів.

Австралійцям мало пощастило з деякими елементами в пилових хмарах; виявляється, ці елементи навряд чи помітили б, якби альфа коливалася щодня. Тож учені розширили свій пошук до елементів, як-от хром, котрий виявився надзвичайно чутливим до альфи: що меншою альфа була в минулому, то червонішим було світло, яке поглинав хром, і вужчим простір між його соль-бемольним та соль-діезним рівнями. Аналізуючи розрив, який хром та інші елементи утворювали мільярди років тому поблизу квазара, і порівнюючи його з атомами в лабораторії сьогодні, науковці могли судити, чи змінилася альфа за цей час. І хоча, як і всі вчені — особливо ті, що пропонують щось суперечливе,— австралійці викладають свої висновки неясною та ухильною науковою мовою, лише «що те і те “узгоджується з гіпотезою” цього та іншого», вони вважають, що їхні надтонкі вимірювання свідчать: альфа змінилася десь до 0,001 % за 10 млрд років.

Чесно кажучи, така мізерна зміна може здатися смішною для суперечки, ніби Білл Гейтс бореться за копійки на тротуарі. Але величина менш важлива, ніж сама *можливість* зміни фундаментальної константи*. Багато вчених заперечують результати з Австралії, але якщо ці дані витримують тиск — або якісь інші науковці, що працюють над змінними константами, знайдуть позитивний доказ,— їм доведеться переосмислити Великий вибух, оскільки єдині відомі закони Всесвіту не могли б дотримуватися від самого початку*. Змінна альфа скине фізику Айнштайна так само, як Айнштайн скинув Ньютона, а Ньютон — середньовічну схоластичну фізику. І як показує наступний розділ, дрейф альфи також може здійснити революцію в дослідженні космосу на наявність ознак життя.

Ми вже зустрічали Енріко Фермі в досить жалюгідних обставинах — він отримав Нобелівську премію за виявлення трансуранових елементів, яких не виявив, і помер від отруєння берилієм після деяких сміливих експериментів. Але неправильно просто залишати у вас негативне враження щодо цього енергійного чоловіка. Учені любили Фермі всезагально і беззастережно. На його честь названо сотий елемент, фермій, і його вважають останнім великим подвійним науковцем — теоретиком-експериментатором, людиною, що з однаковою ймовірністю могла мати на руках

і мастило лабораторних машин, і крейду, якою писав формули на дошці. Ще він мав диявольськи швидкий розум. Під час наукових зустрічей його колегам іноді потрібно було бігти до своїх кабінетів і шукати таємні рівняння, щоби вирішити якесь питання; часто ще до їх повернення Фермі, не в змозі чекати, виводив ціле рівняння з нуля й отримував потрібну відповідь. Якимось він попросив молодших колег з'ясувати, скільки міліметрів пилу може накопичитися на славнозвісно брудних вікнах його лабораторії, поки цей пил відірветься під власною вагою і впаде на підлогу. Історія не зафіксувала відповіді, лише пустотливе* запитання.

Однак навіть Фермі не міг знайти розв'язання одного оманливо простого питання. Як зазначалося раніше, багато філософів дивуються, що Всесвіт здається досконало налаштованим на життя, оскільки певні фундаментальні константи мають «ідеальне» значення. Ба більше, учені давно вважають — на кшталт того, як вони вважають, що обчислення секунди не повинне ґрунтуватися на орбіті нашої планети,— що Земля не є космічно особливою. З огляду на таку звичайність, а також величезну кількість зір і планет, а також еони, що минули після Великого вибуху (і залишаючи осторонь будь-які дражливо релігійні проблеми), Усесвіт по праву має кишити життям. Проте ми не тільки ніколи не зустрічали інопланетних істот, ми навіть ніколи не отримували привіт. Якимось Фермі роздумував над цими суперечливими фактами за обідом і кричав своїм колегам, ніби очікував відповіді: «Тоді де всі?»

Його колеги вибухнули сміхом від того, що зараз відомо як «парадокс Фермі». Але інші вчені сприймали Фермі серйозно, і вони справді вірили, що можуть отримати відповідь. Найвідомішу спробу було здійснено 1961 року, коли астрофізик Френк Дрейк виклав те, що сьогодні відоме як рівняння Дрейка. Як і принцип невизначеності, рівняння Дрейка має шар інтерпретацій, котрий затьмарює те, що воно насправді говорить. Коротше кажучи, це низка здогадок: про те, скільки зір існує в нашій Галактиці, яка частка з них має землеподібні планети, яка частка цих планет має розумне життя, яка частина цих форм життя хоче вступити в контакт тощо. Дрейк спочатку обчислив*, що в нашій Галактиці існувало десять товариських цивілізацій. Але це була лише поінформована здогадка, яка змусила багатьох учених відмовитися від цього як надмірного філософствування. Наприклад, як ми може-

мо психоаналізувати інопланетян і з'ясувати, який відсоток з них хоче спілкуватися?

Проте рівняння Дрейка має важливе значення: воно визначило, які дані потрібно збирати астрономам, і надало астробіології наукову основу. Можливо, згодом ми оглянемося на це, як колись на ранні спроби організувати періодичну систему. Завдяки значному вдосконаленню телескопів та інших небесних вимірювальних приладів астробіологи отримали інструменти, що дають більше, ніж здогадки. Насправді космічний телескоп «Габбл» та інші зібрали з отриманих даних стільки інформації, що астробіологи тепер можуть піти далі, ніж Дрейк. Їм не потрібно чекати, поки розумне інопланетне життя розшукає нас, або навіть досліджувати глибокий космічний простір заради чужого Великого китайського муру. Вони будуть у змозі виміряти прямі докази життя — навіть приглушеного життя на кшталт екзотичних рослин або гнійних мікробів — шляхом пошуку елементів, як-от магній.

Зрозуміло, що магній менш важливий, ніж кисень або вуглець, але дванадцятий елемент міг бути величезною підмогою для первісних істот, дозволяючи їм переходити від органічних молекул до реального життя. Майже всі форми життя використовують металеві елементи в слідових кількостях для створення, зберігання або переміщення навколо них енергетичних молекул. Тварини переважно використовують залізо в гемоглобіні, але найдавніші найбільш успішні форми життя, особливо синьозелені водорості, використовували магній. Зокрема хлорофіл (імовірно, найважливіша органічна хімічна речовина на Землі — він рухає фотосинтез, перетворюючи зоряну енергію на цукри, які є основою харчового ланцюга) увінчується іонами магнію в центрі. Магній допомагає нормально функціонувати ДНК у тварин.

Відкладення магнію на планетах також передбачають наявність рідкої H_2O , найбільш вірогідного середовища для життя. З'єднання магнію збирають воду, тому навіть на голих «кам'яних» планетах, як-от Марс, є надія знайти серед таких відкладень бактерії (або скам'янілі бактерії). На водних планетах (як-от чудовий кандидат на позаземне життя в нашій Сонячній системі, супутник Юпітера Європа) магній сприяє збереженню рідини в океанах. Європа має крижану зовнішню кору, але під нею процвітають величезні рідкі океани, і супутникові дані свідчать, що ці океани сповнені со-

лями магнію. Як і будь-які розчинені речовини, солі магнію знижують точку замерзання води, тому вона залишається рідиною за від'ємних температур. Солі магнію також збуджують «соляний вулканізм» на скелястих ділянках океанського дна. Ці солі збільшують об'єм води, у якому вони розчинені, а надмірний тиск надлишкового об'єму активізує вулкани, котрі вивергають солонувату воду й розбурхують океанські глибини. (Тиск також розтріскує поверхневі крижані шапки, додаючи збагачений солями лід у воду океану, — це добре у разі, якщо бульбашки з льодом важливі для створення життя.) Ба більше, сполуки магнію (серед інших) можуть забезпечувати сировиною для побудови життя шляхом розмивання багатих вуглецем хімічних речовин із дна океану. Якщо не вдається приземлити зонд або ж побачити чужорідну рослинність, виявити солі магнію на голій, безповітряній планеті — це хороший знак, що там може відбуватися щось біологічне.

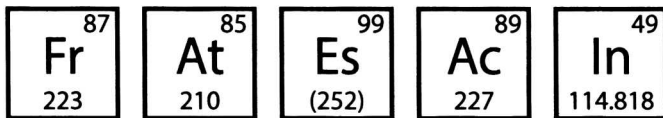
Але припустимо, що Європа є безплідною. Попри те, що полювання на далеке чужорідне життя стає все більш технічно вдосконаленим, воно все ще спирається на одне величезне припущення: що та сама наука, яка контролює нас тут і зараз, справедлива і в інших галактиках, і в інші часи. Але якщо альфа змінюється з часом, наслідки для потенційного інопланетного життя можуть бути величезними. Історично склалося так, що життя, можливо, не могло існувати, поки альфа не «розслабилася» настільки, щоби дозволити утворюватися стабільним атомам вуглецю — і, вірогідно, тоді життя виникло без зусиль, без потреби звертатися до креатора. І оскільки Айнштайн визначив, що простір і час переплітаються, деякі фізики вважають, що альфа-варіації в часі можуть означати альфа-варіації в просторі. Згідно з цією гіпотезою, подібно до того, як життя виникло на Землі, а не на Місяці, оскільки на Землі є вода й атмосфера, можливо, життя виникло тут, на, здавалося б, випадковій планеті у, здавалося б, нічим не примітному закутку космосу, оскільки лише тут існують належні космологічні умови для утворення міцних атомів та повних молекул. Це дозволило б за одну мить вирішити парадокс Фермі: ніхто нам не зателефонував, бо там нікого немає.

Зараз докази схиляються до звичайності Землі. І на основі гравітаційних збурень далеких зір астрономи тепер знають про тисячі планет, що робить шанси знайти десь життя досить непоганими.

І все-таки питання про те, чи має Земля, а отже і люди, привілейоване місце у Всесвіті, буде вирішувати велика дискусія з астробіології. Полювання на інопланетне життя займе кожную частинку вимірального генія, який ми маємо, можливо, з якимись прогавленими комірками в періодичній таблиці. Усе, що ми точно знаємо, це те, що якби якийсь астроном сьогодні ввечері націлив телескоп на далеке зоряне скупчення і знайшов незаперечні докази життя, хай навіть мікробних падальників, це було б найважливішим відкриттям усіх часів — доказом того, що врешті-решт людина не є чимсь особливим. За винятком того, що ми теж існуємо і можемо зрозуміти й зробити такі відкриття.

19

Над (і поза) періодичною таблицею



Є загадка біля краю періодичної системи. Високорадіоактивних елементів завжди мало, тому інтуїтивно ви можете подумати, що елемент, який найлегше розпадається, також буде і найбільш дефіцитним. І елемент, який видаляється найшвидше та цілковито щоразу, коли з'являється в земній корі, надкрихкий францій, справді рідкісний. Францій існує в часі менше, ніж будь-який інший природний атом,— проте один елемент навіть рідший, ніж францій. Це парадокс, і його розв'язання насправді вимагає полишити зручні рамки періодичної системи. Це вимагає визначення того, що ядерні фізики вважають своїм Новим Світом, своєю не-підкореною Америкою — «островом стабільності»,— що є їхньою найкращою і, можливо, єдиною надією на розширення таблиці за її нинішні межі.

Як ми знаємо, 90 % частинок у Всесвіті — це водень, а інші 10 % — гелій. Усе інше, зокрема шість мільйонів мільярдів мільярдів кілограмів Землі, є космічною помилкою округлення. І в цих шести мільйонах мільярдів мільярдів кілограмів загальна кількість астата, найдефіцитнішого природного елемента,— це одна дурна унція. Щоби помістити це в якийсь (ледь) зрозумілий обсяг, уявіть,

що ви загубили свій «бьюїк-астат» у величезному гаражі, і жодної гадки не маєте, де він перебуває. Уявіть собі нудну прогулянку вздовж кожного ряду на кожному рівні повз кожне місце стоянки в пошуках свого автомобіля. Щоби цілком імітувати полювання на атоми астата всередині Землі, цей гараж повинен мати близько 100 млн паркомісць завширшки, 100 млн місць завдовжки і бути 100 млн поверхів заввишки — і таких гаражів має бути 160. Але в усіх цих будівлях був би лише один «бьюїк-астат». Вам краще піти додому пішки.

Якщо астат є настільки рідкісним, природно запитати, як учені колись провели його перепис. Відповідь: вони трохи змахлювали. Будь-який астат, присутній на ранній Землі, давно радіоактивно розпався, але інші радіоактивні елементи іноді розпадаються на астат після випльовування альфа- або бета-частинок. Знаючи загальну кількість вихідних елементів (зазвичай елементів поблизу урану) та обчислюючи шанси того, що кожен з них розпадеться до астата, учені можуть назвати кілька правдоподібних варіантів кількості наявних атомів астата. Це працює і для інших елементів. Наприклад, у будь-який момент існує щонайменше 20–30 унцій найближчого сусіда астата по періодичній системі, францію.

Як не дивно, астат водночас набагато міцніший, ніж францій. Якби у вас був мільйон атомів найдовговічнішого типу астата, половина з них розпалася б за 400 хвилин. Подібний зразок францію протримався б лише 20 хвилин. Францій настільки крихкий, що переважно ні до чого не придатний, і хоча на Землі цього елемента (ледве) достатньо для того, щоб хіміки могли його безпосередньо виявити, ніхто ніколи не згуртує достатню кількість атомів францію, щоби зробити видимий зразок. Якби вчені це зробили, він був би таким радіоактивним, що негайно вбив би їх. (Поточний рекорд «флешмобу» францію становить десять тисяч атомів.)

Найвірогідніше, ніхто ніколи не виготовить видимого зразка астата, але він принаймні для чогось корисний — як радіоізотоп швидкої дії в медицині. Фактично, після того як учені — під керівництвом нашого давнього друга Еміліо Сегре — ідентифікували астат 1939 року, вони ввели його зразок морській свинці для вивчення. Оскільки астат перебуває в періодичній таблиці під йодом, він діяв в організмі аналогічно і тому вибірково фільтру-

вався та концентрувався щитоподібною залозою гризуна. Астат залишається єдиним елементом, відкриття якого було підтверджене не приматом.

Дивна схожість між астатом і францієм починається з їхніх ядер. Там, як і в усіх атомів, за домінування борються дві сили: сильна ядерна взаємодія (яка завжди є тяжінням) та електростатична сила (яка може відштовхувати частинки). Хоча сильна взаємодія є найпотужнішою з чотирьох основних сил природи, вона має смішно короткі руки. Подумайте про тиранозавра. Якщо частинки розбігаються на відстань понад кілька трильйонних дюйма, сильна взаємодія стає безсилою. З цієї причини вона рідко вступає в гру поза ядрами і чорними дірами. Проте в межах свого діапазону вона в сто разів потужніша, ніж електростатична сила. Це добре, бо саме вона утримує зв'язаними між собою протони та нейтрони, замість дозволити електростатичним силам розривати ядра.

Коли йдеться про ядра розмірів як у астата і францію, обмежений діапазон дійсно стримує сильну взаємодію, і в неї виникають проблеми зі зв'язуванням до купи всіх протонів і нейтронів. Францій має 87 протонів, жоден з яких не хоче торкатися іншого. Його 130 з гаком нейтронів становлять добрі буфери між позитивними зарядами, але також додають стільки маси, що сильна взаємодія не може досягти краю ядра, щоби придушити «громадянську» боротьбу. Це робить францій (і астат із подібних причин) украй нестабільним. І цілком зрозуміло, що додавання більшої кількості протонів збільшило б електричне відштовхування, зробивши атоми, що важчі францію, ще слабшими.

Однак це правильно лише певною мірою. Пам'ятайте, що Марія Гепперт-Маєр («Матінка із Сан-Дієго отримала Нобелівську премію») розробила теорію про довговічні «магічні» елементи — атоми з двома, вісьмома, двадцятьма, двадцятьма вісьмома тощо протонами або нейтронами, які були надстійкими. Інші кількості протонів або нейтронів, наприклад дев'яносто два, також утворюють компактні й досить стійкі ядра, де близькодійна сильна ядерна взаємодія може посилити свою владу над протонами. Ось чому уран стабільніший, ніж астат або францій, попри те, що він важчий. Відповідно до того, як ви просуваєтеся вниз періодичною системою, боротьба між сильною ядерною взаємодією та електростатичною силою все більше нагадує падіння фондового ринку із загальною

тенденцією до зниження стабільності, але з великою кількістю хитань і коливань, коли перевагу отримує то одна сила, то інша.*

Виходячи з цієї моделі переважання, учені припустили, що за межами урану тривалість життя елементів асимптотично наближається до 0,0. Але коли в 1950–1960-х вони досліджували надважкі елементи, сталося щось несподіване. Теоретично магічні числа розширюються до нескінченності, і виявилось, що існує квазістабільне ядро після урану, в елементі сто чотирнадцять. Але вчені Каліфорнійського університету в Берклі (де ж іще?) підраховали, що, замість бути незначно стабільнішим, цей елемент може жити на порядки довше, ніж десять або близько того важких елементів, що передують йому. Ураховуючи жахливо короткий термін життя важких елементів (у кращому разі — мікросекунди), це була дика й суперечлива ідея. Набивання нейтронів і протонів у більшість штучних елементів подібне до упаковки вибухових речовин, оскільки збільшується навантаження на ядро. Проте з елементом сто чотирнадцять упаковка додаткового тротилу, здавалося, збільшує стійкість бомби. Так само дивно, що елементи сто дванадцять і сто шістнадцять, здавалося (принаймні на папері), отримували великий зиск від перебування поблизу комірки.

Навіть саме розташування поруч із цим квазімагічним числом заспокоїло їх. Учені почали називати це скупчення елементів «острів стабільності».

Зачаровані власною метафорою та вважаючи себе хоробрими дослідниками, учені почали готуватися до підкорення острова. Вони говорили про пошук елементної «Атлантиди», а деякі, як старовинні моряки, навіть виробляли «карти» невідомих ядерних морів кольору сепія. (Ви навряд очікуєте побачити намальованих у водах кракенив, чи не так?) І ось уже десятки років спроби дістатися до цього оазису надважких елементів складають одну з найбільш захопливих галузей фізики. Учені ще не дісталися суходолу (щоб отримати по-справжньому стабільні, подвійно магічні елементи, їм потрібно знайти способи додати більше нейтронів до ядер-мішеней), але вони вже перебувають на мілководді острова, щосили налягаючи на весла.

Звичайно, острів стабільності передбачає ділянку зануреної стабільності, зосередженої на франції. Елемент вісімдесят сім опинився між магічним ядром у вісімдесят другому та квазістабільним ядром

у дев'яносто другому, і це занадто спокусливо для його нейтронів та протонів, щоби покинути корабель та плавати. Насправді, через слабку структурну основу свого ядра францій є не тільки найменш стабільним природним елементом, він менш стійкий, ніж кожен синтетичний елемент до 104-го, невблаганного резерфордію. Якщо існує «заглибина нестабільності», то францій положе горло бульбашками на дні Маріанської западини.

Проте його більше, ніж астата. Чому? Бо багато радіоактивних елементів навколо урану в процесі дезінтеграції розпадаються до францію. Але францій, замість нормального альфа-розпаду і перетворення в такий спосіб (через втрату двох протонів) на астат, вирішує в понад 99,9 % випадків зменшити тиск у своєму ядрі, піддавшись бета-розпаду, та стати радієм. Потім радій зазнає каскад альфа-розпадів, у яких перескакує через астат. Інакше кажучи, шлях багатьох атомів, що розкладаються, веде до короткочасного перебування в стані францію — звідси його двадцять-тридцять унцій. Водночас францій відводить свої атоми подалі від шляху до астата, унаслідок чого останній залишається рідкісним. Загадку вирішено.

Тепер, коли ми з'ясували із заглибинами, як щодо цього острова стабільності? Сумнівно, що хіміки колись синтезуватимуть усі елементи аж до дуже високих магічних чисел. Але, можливо, вони зможуть синтезувати стабільний елемент сто чотирнадцять, потім сто двадцять шість тощо. Деякі вчені також вважають, що додавання електронів до надважких атомів може стабілізувати їхні ядра — електрони можуть діяти як пружини та демпфери, поглинаючи енергію, яку атоми зазвичай витрачають на саморуйнування. Якщо це так, вірогідно, елементи 140+, 160+ і 180+ можливі. Острів стабільності стане ланцюгом островів. Ці стабільні острови будуть віддалятися один від одного, але, імовірно, як і полінезійські човняри на своїх каное, учені зможуть подолати деякі дикі відстані в новому періодичному архіпелагу.

Захоплива частина полягає в тому, що ці нові елементи, замість бути лише важчими версіями того, що ми вже знаємо, можуть мати нові властивості (згадайте, як свинець виникає із лінії вуглецю та кремнію).

Згідно з деякими розрахунками, якщо електрони можуть приборкати надважкі ядра і зробити їх більш стабільними, то ці ядра також можуть маніпулювати електронами — у цьому разі елект-

рони можуть заповнювати оболонки атомів і орбіталі в іншому порядку. Елементи, адреса яких у таблиці мусить зробити їх нормальними важкими металами, можуть рано заповнити свої октети й натомість діяти як металеві благородні гази.

Не будемо спокушати богів гордощів, але вчені вже мають назви для цих гіпотетичних елементів. Можливо, ви помітили, що надважкі елементи внизу таблиці отримують три літери замість двох і що всі вони починаються з *u*. Знову ж таки, це тривалий вплив латини та грецької. Поки що нерозкритий елемент сто дев'ятнадцять, *Uue*, є ун-ун-енієм; елемент сто двадцять два, *Ubb*, є ун-бі-бієм* тощо. Ці елементи отримують «справжні» імена, якщо їх колись буде отримано, але наразі вчені можуть записати їх для пам'яті — і позначити інші цікаві елементи, як-от магічний елемент сто вісімдесят чотири, ун-окт-квадій,— латинськими заміниками. (І слава Богу за них. Із наближенням смерті біноміальної системи видів в біології — цю систему, яка дала нам *Felis catus* для домашньої кішки, поступово замінюють хромосомними ДНК-штрих-кодами, тож до побачення *Homo sapiens* і привіт TCATCGGTCATTGG... — *U* в назвах елементів залишається чи не єдиним нагадуванням про колишнє домінування в науці латини*.)

Тож як далеко можна стрибати з острова на острів? Чи зможемо ми спостерігати, як маленькі вулкани назавжди піднімаються внизу періодичної системи, як вона розширюється і тягнеться до доволі протяжного *e-e-e... ен-ен-енію* — елемента 999, чи навіть далі? *На жаль*, ні. Навіть якщо вчені зрозуміють, як склеювати надважкі елементи, і навіть якщо вони приземляться на віддалених островах стабільності, то майже напевно зіслизнуть просто в безладне море.

Причина сягає Альберта Айнштейна та найбільшого провалу в його кар'єрі. Попри щире віру більшості своїх шанувальників, Айнштейн був нагороджений Нобелівською премією не за теорію відносності, спеціальну чи загальну. Він отримав її за пояснення дивного явища у квантовій механіці — фотоелектричного ефекту. Його рішення дало перші реальні докази того, що квантова механіка не є грубою зупинкою для виправдання аномальних експериментів, а насправді відповідає реальності. І той факт, що Айнштейн за це взявся, є іронічним із двох причин. Першою є та, що, ставши старшим і дратівливішим, Айнштейн прийшов до недовіри квантовій механіці. Її статистичний та глибоко імовірнісний характер

здавався йому занадто схожим на азартні ігри, і це спонукало Айнштайна заявити, що «Бог не грає в кості зі Всесвітом». Він помилявся, і дуже шкода, що більшість людей ніколи не чули репліки Нільса Бора: «Айнштайн! Припини вказувати Богу, що робити».

А друга причина полягала в тому, що хоча Айнштайн усю свою кар'єру й намагався об'єднати квантову механіку та відносність у цілісну й витончену «теорію всього», він зазнав невдачі. Однак не цілковитої. Іноді, коли дві теорії стикаються, вони блискуче доповнюють одна одну: релятивістські корекції швидкості електронів допомагають пояснити, чому ртуть (елемент, на який я завжди звертаю увагу) за кімнатної температури — це рідина, а не очікувана тверда речовина. І ніхто не міг створити елемента — тезки вченого, під номером дев'яносто дев'ять, айнштайнію, не знаючи обох теорій. Але загалом ідеї Айнштайна про гравітацію, швидкість світла та відносність не зовсім відповідають квантовій механіці. У деяких випадках, коли дві теорії стикаються, наприклад усередині чорних дір, усі вигадані рівняння руйнуються.

Ця невдача може встановити обмеження для періодичної таблиці. Повернемося до електронно-планетної аналогії. Подібно до того, як Меркурій обертається навколо Сонця кожні три місяці, а Нептун затягує обліт аж до 165 років, внутрішні електрони обертаються навколо ядра набагато швидше, ніж електрони в зовнішніх оболонках. Точна швидкість залежить від співвідношення між кількістю присутніх протонів та альфою, константою тонкої структури, про яку говорилося в попередньому розділі. Коли це співвідношення стає все ближчим і ближчим до одиниці, електрони летять все ближче й ближче до швидкості світла. Але пам'ятайте, що альфа (як ми вважаємо) встановлена на рівні $1/137$ або близько того. Коли в ядрі є понад 137 протонів, швидкість руху внутрішніх електронів, відповідно, буде більшою, ніж швидкість світла, — що, згідно з теорією відносності Айнштайна, ніколи не може відбутися.

Цей гіпотетично останній елемент, сто тридцять сьомий, часто називають «фейнманієм», за іменем Річарда Фейнмана, фізика, який першим помітив цю халепу. І який назвав альфу «однією з найпроклятіших загадок Усесвіту» — тепер ви можете зрозуміти, чому саме. Оскільки непереборна сила квантової механіки зустрічається з нерухомим об'єктом відносності недалеко від фейнманію, це має щось дати. Ніхто не знає, що саме.

Деякі фізики — з тих, які серйозно замислюються про подорожі в часі,— думають, що відносність може мати лазівку, котра дозволяє особливим (і, що зручно, неспостережуваним) частинкам, так званим тахіонам, рухатися швидше, ніж 300 000 км/с. Хитрість тахіонів полягає в тому, що вони можуть рухатися назад у часі. Отже, якщо суперхіміки колись створять фейнманій-плюс-один, ун-три-октій, чи могли б його внутрішні електрони мчати в минуле, поки решта частин атому сидить як приклеєна? Імовірно, ні. Мабуть, швидкість світла просто накладає жорсткі обмеження на розміри атомів, що повністю знищить ці вигадані острови стабільності так само, як випробування атомних бомб знищували коралові атоли в Тихому океані в 1950-х.

Та чи означає це, що розвитку періодичної системи скоро прийде край?

Чи буде вона зафіксована й заморожена, наче скам'янілість?

Ні, ні і ще раз ні.

* * *

Якщо інопланетяни колись опиняться на нашій планеті, немає гарантії, що ми зможемо з ними спілкуватися, навіть виходячи за межі очевидного факту, що вони не будуть казати «Земля». Вони можуть використовувати замість звуків феромони або імпульси світла; також може виявитися, особливо у вкрай неймовірному випадку, що вони зроблені не з вуглецю, будуть отруйними для нас, і до них не варто наближатися. Навіть якщо ми прорвемося у свідомості цих інопланетян, наші основні цінності — любов, віра, повага, сім'я, гроші, мир — можуть не збігатися з їхніми. Мабуть, єдине, що ми можемо викласти перед ними й переконатися, що вони зрозуміють,— це числа, як-от π , та періодична система.

Звичайно, це повинні бути *властивості* періодичної системи, оскільки стандартний вигляд нашої таблиці у формі замку з башточками, хоч і викарбований на задній обкладинці кожної сучасної книжки з хімії, є лише одним із можливих розташувань елементів. Багато наших дідів виростили із зовсім іншою таблицею, що мала ширину лише вісім стовпців зверху донизу. Вона була більше схожа на табель-календар, де всі елементи в рядках перехідних металів займали пів комірки (трикутник), як це іноді буває з нещасними числами 30 та 31. Що ще сумнівніше, кілька людей засунули

лантаноїди в основну частину таблиці, створивши переповнений безлад.

Ніхто й не думав надавати перехідним металам трохи більше місця, доки Гленн Сіборг та його колеги з Каліфорнійського університету в Берклі (авжеж, можна було очікувати!) не переробили всю періодичну таблицю між кінцем 1930-х та початком 1960-х. Річ не лише в тім, що вони додали елементи. Вони також зрозуміли, що елементи, як-от актиній, не вписуються в схему, з якою вони вирости. Знову ж таки, зараз це здається дивним, але хіміки до того не сприймали періодичність досить серйозно. Вони вважали, що лантаноїди та їхня надокучлива хімія є винятком зі звичайних правил періодичної таблиці — що жоден елемент, який розташований нижче лантаноїдів, ніколи не буде десь приховувати електрони й відхилитися від хімії перехідних металів у такий спосіб. Але хімія лантаноїдів повторюється. Це повинно так бути: це категоричний імператив хімії, властивість елементів, яку визнали б інопланетяни. І вони так само, як Сіборг, визнали б, що елементи розходяться в щось нове й дивне одразу після актинію, елемента вісімдесят дев'ять.

Актиній був ключовим елементом у наданні періодичній таблиці сучасної форми, оскільки Сіборг та його колеги вирішили виділити всі важкі елементи, відомі на той час, — тепер їх називають актиноїдами, за їхнім першим братом, — і відгородити їм місце внизу таблиці. Поки вчені пересували ці елементи, то вирішили надати більше місця й перехідним металам, щоби ті не штовхалися ліктями, і замість набивати їх у трикутники додали до таблиці десять стовпців. Це креслення мало настільки значний сенс, що багато людей копіювали Сіборга. Потрібно було почекати деякий час, поки відімруть бескомпромисні прихильники старої таблиці, але в 1970-х періодичний табель-календар остаточно змінився на періодичний замок, оплот сучасної хімії.

Але хто каже, що це ідеальна форма? Стовпчаста форма домінувала від часів Менделєєва, проте сам Менделєєв створив тридцять різних періодичних таблиць, а до 1970-х учені розробили понад сімсот варіантів. Деякі хіміки люблять відірвати башту з одного боку й прикріпити її до іншого, тоді періодична таблиця стає схожою на незграбні сходи. Інші метушаться з воднем та гелієм, перекидуючи їх зі стовпця у стовпець, щоби підкреслити: ці два не-октетні елементи потрапляють у хімічно дивні ситуації.

Однак насправді, коли вже починаєш гратися з формою періодичної таблиці, немає жодної причини обмежуватися прямокутними фігурами*. Одна розумна сучасна періодична система схожа на стільник, де кожна шестигранна комірка має спіраль назовні у все ширших і ширших рукавах від водневого ядра. Астрономам і астрофізикам може сподобатися версія, у якій водневе «сонце» перебуває в центрі таблиці, а всі інші елементи обертаються навколо нього, як планети з місяцями-супутниками. Біологи нанесли періодичну таблицю на спіралі, наче ДНК, а гіки намалювали періодичні системи, де рядки й стовпці подвоюються і ходять коловими стежками дошки, як в настільній грі «*Parchees*». Хтось навіть має патент США (№ 6361324) на іграшку «пірамідальний кубик Рубіка», на грані якої нанесено позначення хімічних елементів.

Схильні до музики люди зображують елементи на нотних ставах, а наш старий друг Вільям Крукс, шукач спиритизму, розробив дві доречно вигадливі періодичні таблиці, одна з яких була схожа на лютню, а інша — на крендель. Мої улюблені таблиці пірамідальної форми — яка дуже розумно розширюється рядок за рядком і наочно демонструє, де виникають нові орбіталі й скільки ще елементів уписується в загальну систему,— із вирізаною частиною, яка крутиться посередині і яку я не можу цілком зрозуміти, проте насолоджуюся нею, тому що це схоже на стрічку Мебіуса.

Нам навіть більше не потрібно обмежувати періодичні таблиці двома вимірами. Негативно заряджені антипротони (які виявив Сегре 1955 року) дуже добре поєднуються з антиелектронами (тобто позитронами), утворюючи атоми антиводню. Теоретично може існувати й будь-який інший антиелемент у періодичній антисистемі. Окрім простої оглядової версії звичайної періодичної таблиці, хіміки досліджують нові форми матерії, які могли б помножити кількість відомих елементів на сотні, якщо не тисячі.

Перші — це суператоми. Ці скупчення — від восьми до ста атомів одного елемента — мають моторошну здатність імітувати поодинокі атоми різних елементів. Наприклад, тринадцять атомів алюмінію, згруповані правильно, утворюють убивчий бром: ці дві сутності неможливо розрізнити в хімічних реакціях. Це відбувається попри те, що скупчення в тринадцять разів більше, ніж одиничний атом бром, і попри те, що алюміній не є нічим схожим на сльозогінний отруйний газ. Інші комбінації алюмінію можуть імітувати благо-

родні гази, напівпровідники, кісткові матеріали, як-от кальцій, або елементи майже будь-якої іншої ділянки періодичної таблиці.

Кластери працюють у такий спосіб: атоми укладаються в тривимірний багатогранник, і кожен атом у ньому імітує протон або нейтрон у колективному ядрі. Застереження полягає в тому, що електрони можуть плавати всередині цієї м'якої ядерної краплі, і атоми спільно їх ділять. Учені презирливо називають цей стан речовини «джелій». Залежно від форми багатогранника та кількості кутів і країв, у джелії є більше або менше електронів, що виділяються та реагують з іншими атомами. Якщо їх сім, кластер діє як бром, тобто галоген. Якщо їх чотири, він діє як кремній, напівпровідник. Атоми натрію також можуть перетворюватися на джелій та імітувати інші елементи. І немає підстав уважати, що ще деякі елементи не можуть імітувати інші або навіть всі елементи імітують всі інші елементи — безлад цілком у стилі Борхеса. Ці відкриття змушують учених будувати паралельні періодичні таблиці для класифікації всіх нових видів, таблиці, які, наче прозорі плівки в підручнику з анатомії, мають накладатися поверх періодичного скелета.

Хоч яким дивним є джелій, проте кластери принаймні нагадують нормальні атоми. Але з другим способом додання глибини періодичній таблиці все геть інакше. Квантова точка — це своєрідний голографічний віртуальний атом, який, проте, підкоряється правилам квантової механіки. Різні елементи можуть створювати квантові точки, але чи не найкраще це робить індій. Сріблястий метал, родич алюмінію, він живе просто на межі між металами та напівпровідниками.

Учені починають конструювання квантової точки зі спорудження крихітної Вежі Диявола, ледь помітної оку. Як і геологічні формації, ця вежа складається із шарів — знизу вгору йдуть напівпровідник, тонкий шар ізолятора (керамічний), індій, товстіший шар кераміки та металевий ковпачок зверху. До останнього прикладається позитивний заряд, і це притягує електрони. Вони мчать угору, поки не досягнуть ізолятора, крізь який не можуть протікати. Однак якщо ізолятор досить тонкий, електрон — який на своєму основному рівні є просто хвилею — може витягнути деякі вуду-квантово-механічні штуки й пробити тунель до індію.

У цей момент учені вимикають напругу, захоплюючи електронсирітку. Індій, здається, добре пропускає електрони, що рухаються

між атомів, але не настільки добре, щоб електрон зникав усередині шару. Натомість електрон зависає, рухливий, але дискретний, і якщо шар індію є досить тонким і досить вузьким, добряча тисяча атомів індію з'єднується і діє як один колективний атом, і всі вони мають спільний захоплений електрон. Це надорганізм. Помістіть у квантову точку два або більше електрони, і вони отримують протилежні спіни всередині індію й розбіжаться по різних орбіталях та оболонках. Важко перебільшити, наскільки це дивно, наче отримання гігантських атомів конденсату Бозе—Айнштейна, але без жодної суєти, як-от охолодження речей до ледь помітних мільярдних часток градуса вище абсолютного нуля. І це не пуста вправа: точки показують величезний потенціал для «квантових комп'ютерів» наступного покоління, оскільки вчені можуть контролювати окремі електрони і, отже, виконувати обчислення з ними набагато швидше й чистіше, ніж під час проходження мільярдів електронів напівпровідниками в інтегральних схемах Джека Кілбі, які створено понад 50 років назад.

Та й періодична система не залишиться такою самою після квантових точок. Оскільки точки, які також називають «атоми-млинці», настільки плоскі, електронні оболонки відрізняються від звичайних. Насправді млинцева періодична таблиця поки що має зовсім інакший вигляд, ніж періодична система, до якої ми звикли. З одного боку, вона вужча, оскільки не виконується правило октету. Електрони швидше заповнюють оболонки, а інертні благородні гази розділяються меншою кількістю елементів. Це не заважає іншим, більш реактивним квантовим точкам ділитися електронами та зв'язуватися з іншими сусідніми квантовими точками для утворення... ну, хто його знає якої чортівні. На відміну від суператомів, у реальному світі не існує елементів, які б утворювали охайні аналоги квантово-точкових «елементів».

Урешті-решт, існує мало сумнівів, що таблиця рядків і башточок Сіборга з лантаноїдами та актиноїдами, як рови вздовж дна, буде домінувати на заняттях хімією для майбутніх поколінь. Це вдале поєднання простого у виготовленні та легкого в навчанні. Але прикро, що більшість видавців підручників не врівноважує таблицю Сіборга, яка з'являється на передній обкладинці кожної книжки з хімії, кількома найбільш суперечливими композиціями періодичної таблиці на задній обкладинці: тривимірними фігура-

Визнання та подяки

Спочатку я хотів би подякувати своїм найдорожчим людям. Моїм батькам, які змусили мене писати і від самого початку ніколи не запитували занадто часто, що саме я буду робити із собою. Моїй милій Полі, яка тримала мене за руку. Брату Бену та сестрі Беккі, які навчили мене пустувати. Усім іншим моїм друзям та сім'ям з Південної Дакоти й усієї країни, котрі підтримали мене та витягли з дому. І нарешті, моїм різним учителям та викладачам, які першими розповіли багато наведених тут сюжетів, не усвідомлюючи, що роблять щось настільки цінне.

Крім того, я хотів би подякувати своєму агенту Ріку Бродхеду, який уважав, що цей проєкт є чудовою ідеєю і що лише я зможу його здійснити. Багато в чому я завдячую і своєму редакторові у *Little Brown and Company* Джону Парслі, що побачив, якою може бути ця книжка, і допоміг її сформувати. Також неоціненними були інші люди з видавництва та його оточення, зокрема Кара Ейзенпрес, Сара Мерфі, Пеггі Фройденталь, Барбара Яткола та багато не названих людей, які допомогли в розробці та вдосконаленні цієї книжки.

Я також висловлюю подяку дуже багатьом людям, які взяли участь в окремих розділах та уривках, або розповідаючи історії та допомагаючи мені розшукувати інформацію, або пропонуючи свій час, щоби щось мені пояснити. Це Стефан Фаянс; Теодор Грей з *www.periodictable.com*; Барбара Стюарт з *Alcoa*; Джим Маршалл з Університету Північного Техасу; Ерік Скеррі з Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі; Кріс Рід з Каліфорнійського університету в Ріверсайді; Надя Ізаксон; комунікаційна команда *Chemical Abstracts service*; а також співробітники Бібліотеки Конгресу. Якщо я когось не долучив до цього списку, вибачаюсь. Я вдячний всім вам дуже.

Нарешті, я висловлюю особливу подяку Дмитру Менделєєву, Лотару Юліусу Маєру, Джону Ньюлендсу, Александру Емілю Бег'є де Шанкуртуа, Вільяму Одлінгу, Густаву Гінріхсу та іншим ученим, які розробляли періодичну систему, а також тисячам інших науковців, що зробили свій внесок у ці захопливі історії про елементи.

Примітки та виправлення помилок¹

Вступ

с. 8, «літературу, криміналістику отрут та психологію».

Ще однією темою, про яку я дізнався за допомогою ртуті, була метеорологія. Остаточний удар дзвону заупокійної служби за алхімією пролунав наступного дня після Різдва 1759 року, коли два російські вчені, намагаючись побачити, наскільки холодною можна зробити суміш снігу та кислоти, випадково заморозили живе срібло у своєму термометрі. Це був перший зафіксований випадок твердого Hg, і з цим доказом безсмертну рідину алхіміків було вигнано до царини нормальної матерії.

Останнім часом ртуть також політизували, оскільки активісти в Сполучених Штатах енергійно ведуть кампанію проти небезпеки (абсолютно необгрунтованої) ртуті у вакцинах.

1. Географія — то є доля

с. 17, «нічим іншим, як чистим елементом».

Двоє вчених вперше спостерігали гелій (невідому спектральну лінію в жовтому діапазоні) під час затемнення 1868 року — звідси й назва елемента, від *геліос*, що грецькою означає «сонце». Елемент було виділено на Землі 1895 року шляхом ретельної ізоляції гелію від гірських порід (докладніше про це див. Розділ 17). Упродовж восьми років уважалося, що гелій існує на Землі лише в незначній кількості, доки 1903 року шахтарі не знайшли величезну підземну порожнину в штаті Канзас. Вони намагалися запалити газ, який бив з отвору в землі, але їм це не вдалось.

с. 19, «значення мають лише електрони».

Аби підкреслити думку про те, що атоми є переважно порожнім простором, Аллан Блекмен, хімік із Університету Отаго в Новій Зеландії, написав 28 січня 2008 року в *Otago Daily Times*: «Розгляньмо найбільш

¹ Оригінальні назви та імена авторів деяких посилань збережено для найбільш зацікавлених читачів.— Прим. перекл.

щільний відомий елемент, іридій; його зразок розміром із тенісний м'яч важив би трохи більше 3 кг [6,6 фунта]...

Припустімо, що ми могли б якось зібрати ядра іридію якомога щільніше, усуваючи в такий спосіб більшу частину цього порожнього простору... Тоді і зразок цього ущільненого матеріалу розміром із тенісний м'яч важив приголомшливі 7 трлн тонн [7,7 трильйона тонн США]».

Як примітка до цієї примітки: ніхто не знає, чи є іридій найщільнішим елементом. За густиною (тобто питомою масою) він настільки близький до осмію, що вчені не можуть розрізнити їх, і за останні кілька десятиліть вони змінювали один одного на місці короля гори. Зараз на вершині перебуває осмій.

с. 20, «кожну химерну помилку».

Для більш детального ознайомлення з особистостями Льюїса та Нернста (і багатьох інших, як-от Лайнус Полінг та Фріц Габер) я настійливо рекомендую «Собори науки: особистості та суперництво, які зробили сучасну хімію» Патріка Коффі. Це орієнтований на особистості звіт про найважливішу епоху сучасної хімії — між 1890 і 1930 роками.

с. 22, «найбарвистішу історію в періодичній таблиці».

Наведу інші факти про стибій.

1. Більша частина наших знань про алхімію та стибій походить із книжки 1604 року «Тріумфальна колісниця стибію», написаної Йоганном Тельде. Щоби прискорити публікацію своєї роботи, Тельде стверджував, що просто переклав її з тексту 1450 року, написаного монахом Васи́лієм Валенти́ном. Побожуючись переслідувань за свої вірування, Валентин нібито заховав цей текст у стовпі у своєму монастирі. Він залишався прихованим доти, доки «чудодійний грім» не розколов стовп за часів Тельде і дозволив тому виявити рукопис.

2. Хоча багато хто називав стибій гермафродитом, інші наполягали, що він був самою суттю жіночності.

3. У 1930-х у Китаї одна бідна провінція задовольнилася тим, що мала, і вирішила робити гроші зі стибію — то був єдиний місцевий ресурс. Але стибій м'який, легко стирається й трохи токсичний, тож монети вийшли погані, і уряд незабаром їх вилучив. І хоча тоді ці монети коштували менше цента, сьогодні вони приносять колекціонерам тисячі доларів.

2. Майже близнюки та чорна вівця

с. 31, «п'єси Шекспіра справді написав Френсіс Бекон, а не Бард».

Більш просте, але менш барвисте визначення *honorificabilitudinitatibus* — «з почесію». Анаграмою Бекона для цього слова є «*Hi ludi, F. Baconis nati, tuiti orbi*», що перекладається як «Ці п'єси, народжені Ф[ренсісом] Беконном, збережені для світу».

с. 32, «анаконда налічує 1185 літер».

Існує певна плутанина щодо найдовшого слова, яке з'являється в «Хімічних рефератах» (*Chemical Abstracts*). Багато людей називають білок вірусу тютюнової мозаїки, C785H1220N212O248S2, однак значна частина натомість каже про «білок триптофансинтетази», родича хімічної речовини, що, як вважають люди (помилково), робить їх сонними, коли вони їдять індичку (міська легенда). Назва білка триптофансинтетази C1289H2051N343O375S8 містить 1913 літер, що на 60 % довше назви білка вірусу тютюнової мозаїки, і численні джерела — деякі видання «Книги рекордів Гіннеса», «Міський словник» (www.urbandictionary.com), «Словник незвичних, невідомих і безглузких слів» місіс Бірн — усі називають цей триптофановий білок чемпіоном. Проте, провівши години в погано освітлених книжкосховищах Бібліотеки Конгресу, я ніколи не знаходив молекулу цього білка в *Chemical Abstracts*. Це, здається, не з'явилось у повному, прописаному вигляді. Щоб упевнитися ще раз, я відшукав наукову роботу, яка оголосила про розшифровку триптофансинтетази (котру було взято з роздруківки *Chemical Abstracts*), і там автори вирішили скоротити амінокислотну послідовність.

Отже, наскільки я можу зрозуміти, повна назва цього білка ніколи не з'являлася в друці, що, мабуть, пояснює, чому «Книга рекордів Гіннеса» згодом вилучила його як найдовше слово.

Мені вдалося двічі відстежити назву вірусу тютюнової мозаїки — спочатку на с. 967F коричневого тому, що називається *Chemical Abstracts Formula Index*, січень—червень 1964 року, потім на с. 6717F *Chemical Abstracts 7th Coll. Formulas*, C23H32 — Z, 56–65, 1962–1966. Обидві книжки є збірниками, які містять дані щодо всіх наукових робіт із хімії, опублікованих між датами на їхніх обкладинках. Це означає, на відміну від інших посилань на найдовше у світі слово (особливо в інтернеті), що назва вірусу тютюнової мозаїки з'явилася саме тоді, коли вийшли ці томи, 1964 та 1966 роки, а не 1972 року. Ба більше: 1964 року вийшла стаття про триптофансинтетазу, а також інші молекули, перелічені в цьому збірнику хімічних рефератів 1962–1966 років із більшою кількістю атомів C, H, N, O та S, ніж у вірусу тютюнової мозаїки. То чому вони не записані? Тому що всі зазначені мною документи з'явилися після 1965 року, коли компанія *Chemical Abstracts Service* у штаті Огайо, яка збирала всі ці дані, переглянула свою систему іменування нових сполук і почала відмовлятися від надмірно запліпливих назв. Але чому ж вони так заморочувались, описуючи білок вірусу тютюнової мозаїки у збірнику 1966 року? Його можна було б порубати, але на нього нову моду не розповсюдили.

А щоби додати ще один аргумент, зауважу, що оригінальна стаття про вірус тютюнової мозаїки 1964 року була німецькою мовою. Але

Chemical Abstracts — це англомовний документ, що відповідає традиціям справжньої довідкової роботи Семюеля Джонсона та *OED (Oxford English Dictionary)*, і він надрукував цю назву не для демонстрації, а щоби поширювати знання, тому це, безумовно, має значення.

Ф-фу.

До речі, я дуже вдячний Еріку Шивелі, Кристал Пул Бредлі, й особливо Джиму Корнінгу з *Chemical Abstracts Service*, які допомогли мені зрозуміти все це. Вони не мусили розбиратися з моїми заплутаними запитаннями («Привіт. Я намагаюся знайти найдовше слово англійською мовою, і я не впевнений, що це...»), але вони це зробили.

До речі, окрім того, що вірус тютюнової мозаїки був першим виявленим вірусом, він також був першим вірусом, склад та структуру якого проаналізували в скрупульозний спосіб. Одні з найкращих робіт у цій галузі було зроблено Розалінд Франклін, експертом із кристалографії, яка щедро, але наївно поділилася своїми даними з Вотсоном та Кріком (див. Розділ 8). Ох, і «а» в «білку триптофансинтетази» йде від роботи Лайнуса Полінга про те, звідки білки знають, як складатися в належну форму (знову див. Розділ 8).

с. 34 «милосердно відома як тітин».

Кілька дуже терплячих душ розмістили всю амінокислотну послідовність тітину в мережі. Ось статистика: вона займає сорок сім сторінок документа *Microsoft Word* із шрифтом *Times New Roman* 12-го кегля. Він містить понад 34 000 амінокислот і має 43 781 випадків застосування *l*; 30 710 — *y*; 27 120 — *y* і лише 9229 — *e*.

с. 38 «сам собою є майже головним доказом».

З публікації програми *PBS Frontline* («На передньому краї») під назвою «Грудні імпланти на випробуванні»: «Вміст кремнію в живих організмах зменшується зі зростанням складності організму. Співвідношення кремнію та вуглецю становить 250:1 в земній корі, 15:1 в гумусі [грунт з органічними речовинами], 1:1 в планктоні, 1:100 в папороті та 1:5000 у ссавців».

с. 39 «Бардін був мозком цього спільного організму, а Браттейн — руками».

Цитата про те, що Бардін і Браттейн є спільним організмом, походить із документального фільму *PBS «Transistorized»!* («Транзистоване!»).

с. 40 «банк геніальної сперми».

Шоклі підтримував «банк геніальних сперматозоїдів», що базується в Каліфорнії; офіційно він називався «Сховище для вибору зародкового матеріалу». Він єдиний лауреат Нобелівської премії, який публічно визнав, що пожертвував власну сперму, хоча засновник банку Роберт К. Грем стверджував, що це зробили й декілька інших.

с. 43 «Нобелівську премію за свою інтегральну схему».

Інформацію про Кілбі та тиранію чисел можна прочитати в чудовій книжці «Чип: Як двоє американців винайшли мікрочип і розпочали революцію» Т. Р. Ріда. (*The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution* by T. R. Reid).

Як не дивно, клубний діджей, який використовував нік «Джек Кілбі», 2006 року випустив компакт-диск «*Microchip EP*» із зображенням дуже старого Кілбі на обкладинці. У ньому є пісні «Нейтроній», «Байт мій шарф», «Інтегральна схема» і «Транзистор».

3. Галапагоські острови періодичної системи

с. 49 «реальність атомів».

На сьогодні нам може здатися неймовірним, що Менделєєв відмовлявся вірити в атоми, але в той час це не було такою вже незвичною думкою серед хіміків. Вони відмовлялися вірити в те, чого не могли побачити на власні очі, і ставилися до атомів як до абстракції — можливо, зручного способу ведення бухгалтерського обліку, але, безумовно, фіктивного.

с. 49 «принаймні на думку історії?».

Найкращий опис шести вчених, які змагалися за формування першого систематичного розташування елементів, можна знайти в книжці Еріка Скеррі «Періодична система» (*Eric Scerri's The Periodic Table*). Трьом іншим людям зазвичай віддають заслугу за співвинахід періодичної системи або принаймні сприяння йому.

Александр-Еміль Бег'є де Шанкуртуа, за словами Скеррі, розкрив «найважливіший крок» у розробці періодичної системи: «що властивості елементів є періодичною функцією їхніх атомних мас, за цілих сім років до того, як Менделєєв прийшов до такого ж висновку».

Геолог де Шанкуртуа намалював свою періодичну систему на спіральному циліндрі, як нарізку гвинта. Він утратив можливість отримати почесті за таблицю, коли видавець не зміг зрозуміти, як відтворити критичну гвинтову діаграму, що відображає всі елементи. Зрештою видавець здався й надрукував статтю без неї. Уявіть, що ви намагаєтеся дізнатися про періодичну таблицю, не маючи можливості її побачити! Проте справу Шанкуртуа як засновника періодичної системи взяв на себе його колега-француз Лекок де Буабодран — можливо, частково, щоби позлити Менделєєва.

Досвідчений англійський хімік Вільям Одлінг, схоже, став жертвою невезіння. Він багато чого зрозумів щодо періодичної системи, але сьогодні практично забутий. Можливо, його, що мав інші численні хімічні та адміністративні інтереси, просто випередив Менделєєв, який працював за столом як одержимий. Єдине, у чому Одлінг помилився,— це довжина

періодів елементів (кількість елементів, які повинні з'явитися до того, як подібні властивості з'являться знову). Він припускав, що всі періоди мають довжину вісім, але це справедливо лише у верхній частині таблиці. Через особливості *d*-оболонки третій і четвертий рядки вимагають періоду у вісімнадцять елементів. А п'ятий і шостий рядки вимагають тридцяти двох — через *f*-оболонки.

Густав Гінріхс був єдиним американцем у списку співвідкривачів (хоча народився і не в Штатах) і єдиним, кого описували як ексцентричного дивака та геніального одинака, що випереджав свій час. Він опублікував понад три тисячі наукових статей на чотирьох мовах і вперше вивчив і класифікував елементи за випромінюванням світла, яке виявив Бунзен. Він також грав із нумерологією та розробив періодичну спіральню-радіальну таблицю, яка розмістила багато справді стійких елементів у правильних групах. Як підсумовує Скеррі, «робота Гінріхса надзвичайно унікальна, це просто лабіринт, тож буде потрібне більш повне дослідження, перш ніж хтось наважиться висловитися щодо її справжньої цінності».

с. 52 «Earl Gray “з’їдає” столове приладдя».

Якщо вам аж кортить насолодитися цим трюком, ви можете побачити, як ложка з галію цілком зникає, на *YouTube*. Олівер Сакс також розповідає, як учиняти подібні витівки, у книжці «Дядько Вольфрам», мемуарах про своє дитинство.

с. 56 «Вулиці названо на честь мінералів та елементів».

Для деяких описів історії та геології Іттербю та деталей про сьогоденне містечко я звернувся до Джима Маршалла, хіміка та історика з Університету Північного Техасу, який був надзвичайно щедрий на свій час та допомогу. А ще він надіслав мені чудові світлини. Зараз Джим намагається відвідати місця, де вперше було виявлено кожен елемент, саме тому він поїхав до Іттербю (легкий вибір). Удачі, Джиме!

4. Звідки беруться атоми: «Ми всі зоряна матерія»

с. 61 «довели 1939 року».

Один чоловік¹, який допоміг розібратися в циклах синтезу в зорях, Ганс Бете, виграв за це 500 доларів США і негайно скористався ними, щоби підкупити нацистських чиновників і вивезти з Німеччини свою матір та, як не дивно, її меблі.

с. 62 «хімічно своєрідних зір».

Цікавий факт: астрономи визначили дивний клас зір, які виробляють прометій за допомогою поки невідомого процесу. Найвідоміша з них на-

¹ Майбутній нобелівський лауреат.— Прим. перекл.

живається зоря Пшибильського. Насправді дивним є те, що, на відміну від більшості подій синтезу глибоко всередині зір, прометій повинен створюватися на поверхні зорі. В іншому разі він, занадто радіоактивний і недовговічний, не переживе мільйони років переповзання від багатого на ядерний синтез ядра зорі до її зовнішніх шарів.

с. 62 «чи керують зорі долями людства».

Ось дві дивовижні цитати із Шекспіра, якими відкривалася стаття V^2FH :

*То зорі,
Зорі керують долею людською.*

Король Лір, акт 4, сцена 3

*Вина, шановний Бруте, не у наших зорях,
Проте у нас самих.*

Юлій Цезар, дія 1, сцена 2

с. 63 «післязалізний синтез».

Якщо бути технічно точним, зорі не утворюють заліза безпосередньо. Спочатку вони утворюють нікель, елемент двадцять вісім, сплавляючи разом два атоми кремнію, елемента чотирнадцять. Однак цей нікель нестійкий, і переважна його більшість розкладається до заліза протягом декількох місяців.

с. 66 «низьковатне, коричневе світло».

Юпітер міг би запалити синтез дейтерієм — важким воднем з одним протоном і одним нейтроном,— якби він мав у тринадцять разів більшу масу. Беручи до уваги рідкість дейтерію (1 з кожних 6500 молекул водню), це була б досить слабка зоря, але вона все одно вважалася б такою. Щоб запалити регулярний синтез водню, Юпітеру була б потрібна в сімдесят п'ять разів більша маса.

с. 67 «мікроскопічні кубики».

І щоб не поступатися дивній погоді Юпітера чи Меркурія, Марс іноді злизується «снігом» з перекису водню.

с. 70 «сидерофільний, тобто залізолубивий, елемент».

Сидерофіли осмію та ренію також допомогли вченим реконструювати, як Місяць сформувався внаслідок катаклізму — зіткнення між дуже ранньою Землею та астероїдом або кометою. Місяць злився зі сміттям, яке було викинуто в космос.

с. 72 «пізніше названу Немезидою».

Богиня Немезида карала гордовитість. Вона подбала, щоби жодна земля істота ніколи не могла вирости надто гордою, завдаючи удару будь-кому, хто загрожував зрости могутнішим за богів. Аналогія із зорею — компаньйоном Сонця полягала в тому, що якби земні істоти (скажімо,

динозаври) могли еволюціонувати до справжнього інтелекту, Немезида знищила б їх перш, ніж вони отримали б якісь шанси.

с. 74 «як на каруселі з гойдалкою».

За іронією долі, загальний рух Сонця, якщо дивитися здалеку, буде нагадувати старі хитросплетіння та епіцикли, якими давні астрономи намагалися пояснити докоперніковські уявлення про зосереджений на Землі космос (просто вже ніяк не можна називати Землю центром у наші часи). Як Мішер і протеїни, це приклад циклічності всіх ідей, навіть у науці.

5. Елементи в часи війни

с. 76 «продовжило війну до перемоги».

Більш детально про історію хімічної війни, особливо про досвід американських військ, див. «Хімічна зброя в Першій світовій війні: американський досвід, 1917–1918» майора Чарлза Е. Хеллера, частину публікацій *Leavenworth Papers*, виданих Інститутом бойових досліджень, Коледжем командування і генеральним штабом США, Форт Лівенворт, штат Канзас, <http://www-cgsc.army.mil/carl/resources/csi/Heller/HELLER.asp>.

с. 78 «більшість із сьогоднішніх 6,7 млрд людей».

Серед багатьох інших речей, якими ми можемо завдячити аміаку Фріца Габера, є побудований Чарлзом Таунсом перший мазер на ходу, попередник лазера, у якому аміак було використано як стимулятор.

6. Заповнення таблиці... з вибухом

с. 94 «з повним і правильним переліком».

Урбен був не єдиною людиною, яку збентежив Мозлі. Апарат Мозлі також скасував претензію Масатаки Огави щодо виявлення ніппонію, сорок третього елемента (див. Розділ 8).

с. 94 «найбільш непоправних злочинів в історії».

Щодо розповідей про суворі накази та битви, які призвели до смерті Мозлі, див. «Створення атомної бомби» Річарда Родса (*The Making of the Atomic Bomb* by Richard Rhodes). Насправді, вам слід, мабуть, просто прочитати всю цю книжку, оскільки це найкращий звіт про науку ХХ століття, написаний досьогодні.

с. 95 «як “не дуже корисний”».

Стаття журналу *Time*, де згадувалося про відкриття елемента шістдесят один, також містила цей фрагмент щодо питання, як його назвати: «Один жартівник на конференції запропонував [назвати його] гровзієм на честь гучномовного генерал-майора Леслі Р. Гровза, військового керівника проекту атомної бомби. Хімічний символ: Grr».

с. 96 «в стилі гри Pac-Man».

Окрім моделі ядра, що поїдає електрони в стилі *Pac-Man*, учені в той час розробили також модель «пудингу з родзинками», у якій електрони було вбудовано наче родзинки в «пудинг» позитивного заряду (Резерфорд спростував це, довівши існування компактного ядра). Після відкриття поділу вчені розробили краплинну модель ядра, у якій великі ядра розпадаються, наче краплина води на поверхні, розщеплюючись на дві краплі. У розробці краплинної моделі вирішальне значення мала робота Лізи Майтнер.

с. 100 «чи буде конфігурація термоядерною».

Цитати з Джорджа Дайсона можна знайти в його книжці «Проект Оріон: Справжня історія атомного космічного корабля» (*Project Orion: The True Story of the Atomic Spaceship* by George Dyson).

с. 100 «методологічній мапі».

Фраза про метод Монте-Карло «одразу ніде й усюди на звичайній методологічній мапі» з'являється у творі «Образ та логіка» Пітера Луїса Галісона (*Peter Louis Galison's Image and Logic*).

7. Розширення таблиці, розширення холодної війни

с. 106 «у розділі “Міські балачки”».

У журналі *The New Yorker* від 8 квітня 1950 року з'явилася стаття, написана Е. Дж. Каном-молодшим.

с. 111 «востаннє увімкнув сигнал тривоги».

Докладніше про експерименти, що призвели до відкриття елементів з 94 до 110, а також про особисту інформацію можна дізнатися в автобіографіях Гленна Сіборга, особливо в «Пригодах в атомну епоху» (*Adventures in the Atomic Age*, написаних разом із сином Еріком). Книжка реально цікава, оскільки Сіборг був центром надзвичайно важливої науки й протягом десятиліть відігравав величезну роль у політиці. Однак, чесно кажучи, обережний стиль письма Сіборга робить її місцями дещо м'якою.

с. 114 «від отруйних нікелевих плавильень».

Інформація про відсутність дерев навколо Норильська надходить від *Time.com*, яка 2007 року назвала Норильськ одним із десяти найбільш забруднених міст у світі. Див. http://www.time.com/time/specials/2007/article/0,28804,1661031_1661028_1661022,00.html.

с. 118 «доданий до періодичної системи в червні 2009 року, коперницій (Cn)».

У червні 2009 року я написав статтю для *Slate.com* («*Periodic Discussions*» <http://www.slate.com/id/2220300/>). Вона охоплює трохи того самого мате-

ріалу, що в цій книжці. Стаття детально висвітлює, чому для просування коперницію від стану тимчасового елемента до повноправного члена періодичної системи знадобилося тринадцять повних років.

8. Від фізики до біології

с. 124 «за наступні двадцять років — сорок дві».

Окрім Сегре, Шоклі та Полінга, іншими дванадцятьма вченими на обкладинці *Time* були Джордж Бідл, Чарлз Дрейпер, Джон Ендерс, Дональд Глазер, Джошуа Ледерберг, Віллард Ліббі, Едвард Персел, Ісідор Рабі, Едвард Теллер, Чарлз Таунс, Джеймс Ван-Аллен та Роберт Вудворд.

Стаття *Time* «Люди року» містить слова Шоклі про перегони. Очевидно, він уважав їх компліментами, але його погляд на Банча мав здаватися дивним навіть у той час, а в ретроспективі він жахливий. «50-річний Вільям Шоклі — це та рідкісна порода вчених, теоретик, який не просить вибачення за величезний інтерес до практичних застосувань своєї праці. «Питання про те, наскільки дослідницька робота є чистою і наскільки вона застосовується,— говорить Шоклі,— це все одно, що запитати, скільки може мати негритянської та білої крові Ральф Банч. Важливо те, що Ральф Банч — чудова людина».

Зі статті також видно, що легенду про Шоклі як головного винахідника транзистора вже було міцно встановлено: «Найнятий компанією *Bell Telephone Laboratories* одразу після закінчення МТІ 1936 року фізик-теоретик Шоклі став одним із команди, яка знайшла застосування для того, що раніше було науковим салонним фокусом: використання кремнію та германію як фотоелектричного пристрою. Разом зі своїми партнерами Шоклі одержав Нобелівську премію за перетворення куточків германію на перші транзистори, «освічені» маленькі кристали, які швидко замінюють вакуумні трубки в динамічній електронній промисловості країни».

с. 128 «що за кляте невезіння, це ж стаття Іди Ноддак!»

Загалом Іда Ноддак мала плямисту хімічну кар'єру. Вона допомогла знайти сімдесят п'ятий елемент, але роботу її групи з елементом сорок три було пронизано помилками. Вона передбачила поділ ядер на роки раніше, ніж будь-хто інший, але приблизно водночас почала доводити, що періодична система є марною реліквією, оскільки розмноження нових ізотопів робить її громіздкою. Незрозуміло чому, але Ноддак уважала, що кожен ізотоп є окремим елементом, до того ж намагалася переконати інших, що їм слід відмовитися від періодичної системи.

с. 129 «Причина нашої сліпоти незрозуміла».

Цитата Сегре про Ноддак та поділ походить з його книжки «Енріко Фермі: Фізик».

с. 131 «до молекули, що неправильно функціонує».

Полінг (з колегами Гарві Ітано, С. Джонатаном Сінгером та Ібертом Веллсом) визначив, що дефектний гемоглобін викликає серпоподібно-клітинну анемію, пропускаючи дефектні клітини крізь гель в електричному полі. Клітини зі здоровим гемоглобіном рухалися в електричному полі в одному напрямку, тоді як серпоподібні клітини — в протилежному. Це означало, що два типи молекул мали протилежні електричні заряди, різниця, яка могла виникати лише на молекулярному рівні, атом за атомом.

Як не дивно, Френсіс Крік згодом цитував статтю, у якій Полінг виклав свою теорію про молекулярні основи серпоподібноклітинної анемії як основний вплив на нього, оскільки саме такий тип молекулярної біології — до найдрібніших подробиць — його цікавив.

с. 132 «молекулярний апендикс».

Цікаво, що біологи повільно повертаються до свого первісного погляду з часів Мішера, що білки — це вся генетична біологія та її кінець. Гени цікавили науковців десятиліттями, і вони дійсно ніколи не зникнуть. Але тепер учені усвідомлюють, що гени не можуть пояснити дивовижну складність живих істот і що там відбувається щось набагато більше. Геноміка була важливою фундаментальною роботою, але протеоміка — це та галузь, де можна заробити справжні гроші.

с. 132 «А ДНК була».

Щоби бути скрупульозним, зазначу: вірусні експерименти 1952 року із сіркою та фосфором, проведені Альфредом Герші та Мартою Чейз, не першими довели, що ДНК несе генетичну інформацію. Ця честь належить роботі з бактеріями, зробленій Освальдом Евері й опублікованій 1944 року. Хоча Евері висвітлював справжню роль ДНК, спочатку його робота не викликала широкої довіри. До 1952 року люди лише починали її сприймати, але після експериментів Герші та Чейз учені, як-от Лайнус Полінг, справді почали брати участь у роботі з ДНК.

Люди часто називають Евері, а також Розалінд Франклін, яка мимоволі сказала Вотсону та Кріку, що ДНК є подвійною спіраллю, першими серед тих, хто не отримав Нобелівської премії. Це не зовсім точно. Ці двоє померли до 1958 року, а до 1962-го Нобелівської премії за ДНК нікому не присуджували. Якби вони все ще були живими, принаймні один із них міг би її отримати.

с. 133 «Джеймс Вотсон та Френсіс Крік».

Про первинні документи, пов'язані з Полінгом та його конкуренцією з Вотсоном і Кріком, можна дізнатися на чудовому сайті, створеному Університетом штату Орегон, який архівував і розміщував вміст сотень особистих статей та листів Полінга, а також підготував документальну

історію під назвою «Лайнус Полінг і перегони за ДНК» на вебсайті <http://osulibrary.oregonstate.edu/specialcollections/coll/pauling/dna/index.html>.

с. 135 «до того, як Полінг одужав».

Після провалу з ДНК Ава Полінг, дружина Лайнуса, лихо докорила його. Припускаючи, що буде розбирати ДНК, спочатку Полінг не дуже напружувався під час своїх розрахунків, тож згодом Ава випалила йому: «Якщо [ДНК] була такою важливою проблемою, чому ти не працював над нею більше?» Навіть попри це, Лайнус її дуже любив, і, можливо, однією з причин, що він так довго пробув у Каліфорнійському технологічному і ніколи не перейшов до Берклі, хоча останній був набагато сильнішою школою на той час, стало те, що один із найвидатніших членів кафедри в Берклі професор Роберт Оппенгеймер, пізніше керівник Мангеттенського проекту, якось спробував спокусити Аву, що розлютило Лайнуса.

с. 136 «Нобелівську премію з фізики».

Як останній удар під дих, пізніше навіть Нобелівську премію Сегре було заплямовано звинуваченнями (можливо, необґрунтованими) у тому, що він крав ідеї, розробляючи експерименти з відкриття антипротону. Сегре та його колега Овен Чемберлен визнали, що працювали з войовничим фізиком Оресте Піччіоні над методами фокусування та спрямування пучків частинок за допомогою магнітів, але вони заперечували, що ідеї Піччіоні принесли велику користь, і тому не внесли його до списку авторів вирішальної статті. Пізніше Піччіоні допоміг відкрити антинейтрон. Після того як Сегре та Чемберлен одержали премію 1959 року, Піччіоні протягом багатьох років залишався ображеним на них і нарешті подав судовий позов у розмірі 125 000 доларів США, який суддя відкинув не через відсутність у науковця права порушувати судову справу, а тому що позов було подано більше ніж за десять років після факту.

З некролога Піччіоні в *The New York Times* від 27 квітня 2002 року: «Він зламав би ваші вхідні двері й сповістив, що в нього найкраща ідея у світі,— сказав д-р Вільям А. Венцель, старший науковий співробітник “Національної лабораторії ім. Лоуренса в Берклі”, який також працював над антинейтронним експериментом.— Знаючи Оресте, скажу: у нього було багато ідей; він викидав їх по десятку за хвилину. Деякі з них були хороші, інші — ні. Проте я відчував, що він хороший фізик, і він зробив внесок у наш експеримент».

9. Коридор отруювачів

с. 141 «моторошний перелік».

Люди все ще вмирають від отруєння талієм. 1994 року російські солдати, що працювали на старому складі зброї часів холодної війни, знайшли каністру з білим порошком, що містив цей елемент. Не маючи й гадки,

що це, вони припудрили ним ноги і змішали його зі своїм тютюном. Як повідомлялося, кілька солдатів навіть нюхали його. Усі вони стикнулися з таємничою й зовсім непередбачуваною хворобою, а деякі померли. Більш сумним є те, що двоє дітей іракських пілотів-випилювачів загинули на початку 2008 року, з'ївши іменинний торт, присмачений талієм. Мотив отруєння був незрозумілим, хоча Саддам Хуссейн використовував талій під час своєї диктатури.

с. 144 «на подвір'ї своєї матері».

Різні газети в Детройті протягом багатьох років відслідковували Девіда Гана, але найбільш детальну інформацію про його історію містить стаття Кена Сільверштейна «Радіоактивний бойскаут» (*The Radioactive Boy Scout*) у журналі *Harper's* (листопад 1998). Пізніше Сільверштейн розширив статтю до однойменної книжки.

10. Візьміть два елементи, зателефонуйте мені вранці

с. 151 «ніс, тільки не срібний, а мідний — дешевший і легший».

Окрім вивчення кірки навколо фальшивого носа Браге, археологи, які його викопали, також виявили у вусах ученого ознаки отруєння ртуттю — імовірно, результат його активних алхімічних досліджень. Традиційна версія загибелі Браге полягає в тому, що він помер від розриву сечового міхура. Якось на вечірці з кимось із неповнолітніх осіб королівської родини Браге випив занадто багато, але відмовився встати й піти до туалету, бо, на його думку, було б грубістю покинути стіл перед тим, як це зробить його соціальне керівництво. Коли за кілька годин Браге повернувся додому, він уже не міг мочитися; учений помер після одинадцяти нестерпних днів. Історія стала легендою, але не виключено, що отруєння ртуттю такою ж або навіть більшою мірою сприяло загибелі астронома.

с. 151 «мають мідне покриття».

Хімічний склад американських монет: нові (з 1982 р.) центи — 97,5 % цинку, але мають тонке мідне покриття для стерилізації частин, яких ви торкаєтесь (старі мали 95 % міді); п'ять центів — 75 % міді, решта нікель; 10 центів, 25 центів та 50 центів мають 91,67 % міді, решта нікель; доларові монети (крім золотих монет спеціального випуску) мають 88,5 % міді, 6 % цинку, 3,5 % марганцю та 2 % нікелю.

с. 152 «немов човник з одним веслом».

Додаткові факти про ванадій: деякі істоти (невідомо чому) використовують ванадій у крові замість заліза, тому їхня кров набуває замість червоного кольору яблучно-зеленого або синього, залежно від істоти. Доданий у сталь ванадій значно зміцнює сплав, майже не збільшуючи ваги

(подібно до молібдену і вольфраму, див. Розділ 5). Насправді Генрі Форд колись бумкнув: «Та без ванадію не було б автомобілів!»

с. 152 «змушений буде підсісти до нього».

Автобусна метафора про те, як електрони заповнюють свої оболонки по черзі, поки «когось» не змусять підсісти другим, є однією з найкращих в хімії, як усім зрозуміла й точна. Вона виникла у Вольфганга Паулі, який сформулював свій принцип виключення 1925 року.

с. 153 «хірургічно точні удари без хірургічного втручання».

Окрім гадолінію, найкращою надією на лікування раку часто називають золото. Воно поглинає інфрачервоні промені, які в іншому разі проходять крізь тіло, і стає надзвичайно теплим. Додавання частинок із золотим покриттям до клітин пухлини може дозволити лікарям смажити пухлини, не пошкоджуючи навколишні тканини. Цей метод було винайдено Джоном Канзіусом, бізнесменом і радіотехніком, який пройшов тридцять шість циклів хіміотерапії лейкемії, починаючи з 2003 року. Він відчував таку нудоту й виснаження через хіміотерапію — і був настільки сповнений відчаю, побачивши хворих на рак дітей, з якими стикнувся в лікарні, — що вирішив: має бути кращий спосіб. Джон серед ночі придумав ідею нагрівання металевих частинок і побудував прототип машини, використовуючи жінчині сковорідки для випікання. Він випробував його, упорснувши в половину хот-догу розчин різних металів і помістивши його в камеру інтенсивних радіохвиль. Оброблена частина смажила-ся, а інша залишалася холодною.

с. 154 «продає його як харчову добавку».

У числі «Смітсонівського журналу» за травень 2009 р., у статті «Почесні згадки: генії, що не відбулися» описується такий собі Стен Ліндберг, сміливий хімік-експериментатор, який мав на меті «скуштувати кожен окремий елемент періодичної таблиці». У статті зазначається: «Окрім того, що Ліндберг тримав північноамериканський рекорд з отруєння ртуттю, він залишив неймовірне свідчення про трижильний ітербієвий запій... (стаття “Страх і огида на лантаноїдах”), що вже стала класикою».

Я витратив щонайменше півгодини, жадібно вишукуючи «Страх і огида на лантаноїдах», перш ніж зрозумів, що мене ошукали. Цей твір — чиста вигадка. (Хоча хто знає? Елементи поводяться дуже дивно, і, вірогідно, від ітербію цілком можна захмеліти.)

с. 154 «самостійно вживати “препарати” на кшталт срібла».

2003 року журнал *Wired* опублікував коротку новину про відродження «срібних шахрайств щодо здоров'я» в інтернеті. Наведу красномовну цитату: «Тим часом лікарі по всій країні спостерігали сплеск випадків аргірії. “За останні півтора року я бачив шість випадків отруєння сріблом

унаслідок уживання цих так званих харчових добавок,— сказав Білл Робертсон, медичний директор Центру отруєнь у Сіетлі.— Це були перші випадки за п'ятдесят років моєї медичної практики”».

с. 157 «ухил до молекул лише однієї руки, або хіральності».

Твердження, що на молекулярному рівні люди є виключно лівобічними, трохи натягнуте. Попри те що всі наші білки справді закручено вліво, усі наші вуглеводи, як і нашу ДНК, закручено вправо. Проте головним пунктом Пастера залишається таке: у різних контекстах наші тіла очікують і можуть обробляти лише молекули певної хіральності. Наші клітини не змогли б перекласти закручену вліво ДНК, і якби нас годували лівобічним цукром, наше тіло голодувало б.

с. 159 «і хлопець вижив».

Жозеф Мейстер, маленький хлопчик, якого Пастер урятував від сказу, став землевпорядником Інституту Пастера. Трагічно й гостро, що він усе ще був доглядачем землі 1940 року, коли німецькі солдати захопили Францію. Коли один офіцер вимагав, щоби Мейстер, чоловік із ключами, відкрив склеп Пастера, аби німці могли оглянути кістки Пастера, Жозеф скоїв самогубство, але не став співучасником цього вчинку.

с. 161 «I. G. Farbenindustrie».

Компанія, на яку працював Домагк, IGF, згодом стала відомим у всьому світі виробником інсектициду «Циклон В», котрим нацисти труїли в'язнів концтаборів (див. Розділ 5). Компанію було ліквідовано незабаром після Другої світової війни, і багато кого з її директорів звинуватили як військових злочинців у Нюрнберзі (справа «США проти Карла Крауха та ін.») за сприяння нацистському уряду в агресивній війні та жорсткому поводженні з ув'язненими та полоненими солдатами. Сьогодні серед нащадків IGF є фірми *Bayer* та *BASF*.

с. 163 «між хімією мертвої речовини та хімією живої речовини».

Проте Всесвіт, здається, є хіральним і на інших рівнях — від субатомного до супергалактичного. Радіоактивний бета-розпад кобальту-60 є асиметричним процесом, і космологи побачили попередні докази того, що галактики зазвичай обертаються в спіральних рукавах проти годинникової стрілки над нашим північним галактичним полюсом і за годинниковою стрілкою над Антарктикою.

с. 164 «зробили талідомід найвідомішим лікарським засобом ХХ століття».

Нещодавно кілька вчених з'ясували, чому руйнівні ефекти талідоміду не було виявлено під час клінічних випробувань. Як виявилось, з певних молекулярних причин талідомід не спричиняє вроджених вад у виводках мишей, а німецька компанія *Grünenthal*, що виробляла талідомід, не провела після досліджень на мишах ретельних випробувань на людях.

У США препарат ніколи не було схвалено для вагітних жінок, оскільки керівник Управління з продовольства та медикаментів Френсіс Кейтлін Олдхем Келсі відмовилася підкоритися лобістському тиску, щоби прощтовхнути його. Але зараз історія знає багато цікавих поворотів: талідомід повертається для лікування захворювань, як-от проказа, де він надзвичайно ефективний. Він також є хорошим протипухлинним засобом, оскільки обмежує ріст пухлин, запобігаючи утворенню нових кровоносних судин,— саме тому він спричинив такі жакливі вроджені вади, бо кінцівки ембріонів не могли отримати необхідних для росту поживних речовин. Талідоміду ще доведеться подолати довгий шлях до респектабельності. Більшість урядів мають чіткі протоколи, аби впевнитися, що лікарі не дають препарат жінкам дітородного віку, бо завжди існує шанс, що вони можуть завагітніти.

с. 164 «не знають, лівобічні чи правобічні молекули робити».

Вільям Ноулз розгорнув молекулу, розірвавши подвійний зв'язок. Коли вуглець утворює подвійні зв'язки, у нього виходять лише три «руки»: дві одинарні й подвійна. Атоми вуглецю з подвійними зв'язками зазвичай утворюють трикутні молекули, оскільки трикутне розташування утримує електрони якнайдалі один від одного (120 градусів). Коли подвійний зв'язок розривається, три «руки» вуглецю стають чотирма. У цьому разі доводиться утримувати електрони якнайдалі один від одного за допомогою не плаского квадрата, а тривимірного тетраедра. (Вершини в квадраті — 90 градусів, у тетраедрі — 109,5 градусів.) Але зайва «рука» може прорости над молекулою або під нею, що, зі свого боку, надасть молекулі або лівобічну або правобічну орієнтацію.

11. Як елементи обманюють

с. 169 «у підземних прискорювачах частинок».

Один мій професор з коледжу колись дуже зацікавив мене розповіддю про те, як у 1960-х кілька людей загинули від задушення азотом у прискорювачі частинок в Лос-Аламосі за обставин, дуже подібних до аварії в NASA. Після смертей в Лос-Аламосі мій професор додав 5 % вуглекислого газу до газоподібних сумішей у прискорювачах, що над ними він працював, як засіб безпеки. Пізніше він написав мені: «До речі, я перевіряв це приблизно за рік, коли один із наших аспірантів зробив те саме [тобто забув викачати інертне повітря і впустити назад кисневе повітря]. Я увійшов до барокамери, заповненої інертним газом... Тобто не встиг зайти, адже, тільки-но я просунув плечі крізь отвір, як уже був у відчаї, задихаючись через команди “дихай більше!” від мого дихального центру». Зазвичай у повітрі 0,03 % CO₂, тому одне вдихання повітря, що містило 5 % вуглекислого газу, було приблизно в 167 разів потужнішим.

с. 173 «зі збільшенням кількості дуже швидко стає токсичним».

На свій сором і збентеження, 1999 року уряд США визнав, що свіdomo піддав дії високих рівнів порошкоподібного берилію майже двадцять шість тисяч учених та техніків, причому в сотні з них розвинулися хронічна берилієва хвороба та пов'язані з нею захворювання. Більшість отруєних людей працювали в аерокосмічній та оборонній промисловості й атомній енергетиці — у галузях, стосовно яких уряд вирішив, що вони занадто важливі, щоби їх зупинити або притримати, тому не вдосконалив стандарти безпеки й не розробив альтернативи берилію. У вівторок, 30 березня 1999 року, «*Pittsburgh Post-Gazette*» опублікувала на перших шпальтах довгу й жахливу презентацію. Вона отримала назву «Десятиліття ризику», але один із підписів краще передає суть історії: «Смертельний альянс: як промисловість та уряд обирали зброю проти робітників».

с. 174 «як-от магній і кальцій».

Однак учені з Центру хімічних відчуттів *Monell* у Філадельфії вважають, що, окрім солодкого, кислого, солоного, гіркого та пікантного (умами), люди мають і окремий, унікальний смак кальцію. Вони точно знайшли його в мишей, а деякі люди також реагують на збагачену кальцієм воду. То яким є смак кальцію? З повідомлення про висновки: «Кальцій має кальцієвий смак,— сказав [провідний учений Майкл] Тордофф.— Немає кращого слова для цього. Він трохи гіркий, можливо, навіть трохи кислотуватий. Але там намішано набагато більше, оскільки існують справжні рецептори для кальцію».

с. 175 «звичайного піску».

Кислі смакові рецептори також можуть розряджатися. Вони здебільшого реагують на іон водню, H^+ , але 2009 року вчені виявили, що ці рецептори також можуть відчутти смак вуглекислого газу. (CO_2 поєднується з H_2O , утворюючи слабку кислоту H_2CO_3 , тож, можливо, саме тому ці смакові рецептори оживають.) Лікарі виявили це, оскільки деякі ліки, що відпускають за рецептом, мають побічний ефект — пригнічують здатність відчувати смак CO_2 . Отриманий медичний стан відомий як «блуз шампанського», оскільки всі газовані напої мають відповідний смак.

12. Політичні елементи

с. 184 «і вбила П'єра».

П'єр, можливо, і так не прожив би довго. Якось Резерфорд згадував, що спостерігав за П'єром Кюрі, коли той робив захопливий експеримент з радієм, котрий світився в темряві. Але в слабкому зеленому сяйві пильний Резерфорд помітив шрами, що вкривали набряклі й запалені пальці П'єра, і побачив, як тому важко було брати пробірку та маніпулювати нею.

с. 185 «від свого бурхливого особистого життя».

Детальніше про Марію Кюрі можна дізнатися з чудової книжки Шейли Джонс «Квантова десятка» (*The Quantum Ten*), яка розповідає про дивовижно суперечливі та примхливі перші дні квантової механіки близько 1925 року.

с. 185 «пляшки з водою, попередньо просоченою радієм та торієм».

Найвідомішою жертвою радієвого захоплення став сталевий магнат Ебен Баерс, який щодня протягом чотирьох років випивав пляшку радієвої води «Радітор», переконаний, що це забезпечить йому щось на кшталт безсмертя. Як наслідок, він змарнів і помер від раку. Баерс не був більш фанатичним щодо радіоактивності, ніж інші люди; він просто мав кошти купувати стільки води, скільки бажав. Журнал *Wall Street Journal* прокоментував його смерть заголовком «Радієва вода працювала чудово, поки не відвалилася щелепа».

с. 189 «щодо місця цього елемента в таблиці».

Про справжню історію відкриття гафнію можна дізнатися з книжки Еріка Скеррі «Періодична система» — детального й чудово документованого звіту про піднесення періодичної системи, що містить часто дивні філософії та світогляди людей, які її заснували.

с. 190 «особливу важку воду».

Гевеші проводив експерименти з важкою водою на собі, а також на золотих рибках і зрештою вбив кількох із них. Гілберт Льюїс також використовував важку воду в останній відчайдушній спробі отримати Нобелівську премію на початку 1930-х. Льюїс знав, що відкриття Гарольдом Юрі дейтерію — важкого водню з додатковим нейтроном — виграє Нобелівську премію, і це було відомо всім іншим ученим світу, зокрема самому Юрі. (Після здебільшого туманної кар'єри, яка містила глузування з боку його тещі, Гарольд повернувся додому одразу після виявлення дейтерію й сказав дружині: «Люба, наші проблеми закінчилися»).

Льюїс вирішив домогтися цієї гарантованої премії, дослідивши впливи води, отриманої з важкого водню, на біологічні об'єкти. Інші мали таку ж ідею, але фізичний факультет Берклі, який очолював Ернест О. Лоуренс, випадково мав найбільший у світі запас важкої води. У команди був резервуар з водою, яку вони роками використовували в експериментах з радіоактивністю, і в ньому накопичилася відносно велика кількість важкої води (кілька унцій). Льюїс благав Лоуренса дозволити йому відфільтрувати важку воду, і той погодився — за умови, що Льюїс поверне її після експериментів, оскільки це може виявитися важливим і в дослідженнях самого Лоуренса.

Льюїс порушив обіцянку. Виділивши важку воду, він вирішив дати її миші й подивитися, що станеться. Одним дивовижним ефектом важ-

кої води, як і води в океані, є такий: що більше ви її п'єте, то сильніше відчуваєте спрагу, оскільки організм не може її метаболізувати. Гевеші проковтнув важку воду в незначних кількостях, тому його тіло цього не помітило, але миша Льюїса за кілька годин випила всю важку воду і зрештою загинула. Убивство миші навряд чи було справою, гідною Нобелівської премії, і Лоуренс ледь не вмер, коли дізнався, що паршива тварина випила і... е-е... виділила всю його дорогоцінну важку воду.

с. 192 «член комітету заблокував його кандидатуру з особистих причин».

Син Казімежа Фаянса Стефан Фаянс, який зараз є почесним професором внутрішньої медицини медичного факультету Мічиганського університету, люб'язно надіслав мені інформацію електронним листом:

«1924-го мені було шість років, але ще тоді і, звичайно, в наступні роки я почув від свого батька деякі аспекти історії з Нобелівською премією. Що стокгольмська газета опублікувала заголовок “К. Фаянс отримує Нобелівську премію” (я не знаю, чи це було з хімії або фізики) — це не чутки, а факт. Пам'ятаю, побачив примірник тієї газети. Я також пам'ятаю, як бачив у цій газеті фото мого батька, що йшов повз будівлю в Стокгольмі (можливо, зроблене раніше) у дещо офіційному вбранні, але не [офіційному] на той час... Я чув, що впливовий член комітету заблокував нагороду моєму батькові з особистих причин. Чи це були чутки, чи той дійсний факт, неможливо дізнатися, не переглянувши протоколи засідань. Я вважаю, що вони таємні. Насправді я знаю, що мій батько розраховував отримати Нобелівську премію, бо про це йому натякали деякі відомі люди. Він розраховував отримати її в наступні роки... але цього ніколи не сталося, як відомо».

с. 192 «“протактиній” закріпився».

Фактично Майтнер і Ган назвали свій елемент «протоактиній», і лише 1949 року вчені скоротили його, вилучивши зайве «о».

с. 195 «дисциплінарної упередженості, політичної тупості, необізнаності та поспіху».

У випуску *Physics Today* за вересень 1997 року («Нобелівська повість про повоєнні несправедливості» Елізабет Кроуфорд, Рут Левін Сайм та Марка Вокера) є чудовий аналіз Майтнер, Гана та присудження Нобелівської премії. Стаття є джерелом цитати про те, що Майтнер утратила премію через «дисциплінарну упередженість, політичну тупість, необізнаність та поспіх».

с. 196 «особливі правила іменування елементів».

Після того як для елемента запропоновано ім'я, воно отримує лише одну можливість на появу в періодичній таблиці. Якщо докази щодо елемента розпадаються або якщо Міжнародний союз фундаментальної та

прикладної хімії (IUPAC) винесе рішення проти такої назви, вона потрапляє до чорного списку. Це може здатися задовільним стосовно Отто Гана, але це також означає, що ніхто ніколи не може назвати елемент «жоліотієм» на честь Ірен або Фредеріка Жоліо-Кюрі, оскільки така назва колись була офіційною кандидатурою для елемента сто п'ять. Незрозуміло, чи має «гіорсій» ще один шанс. Можливо, назва «алгіорсій» підійшла б, хоча IUPAC ненавидить використання разом імен та прізвищ і фактично одного разу відхилив «нільсборій» на користь простого «борій» для елемента сто сім — рішення, яке не сподобалося західнонімецькій команді, яка виявила цей елемент, оскільки «борій» занадто схоже на «бор» і «барій».

13. Елементи як гроші

с. 201 «в Колорадо в 1860-х».

Той факт, що в горах Колорадо було виявлено сполуки золота з телуром, відображений у назві місцевого шахтарського містечка — Телурайд, штат Колорадо.

с. 205 «це називається флуоресценція».

Щоби пояснити деякі легко (і часто) плутані терміни, «люмінесценція» — це загальний термін для речовин, які поглинають та випромінюють світло, а «флуоресценція» — це миттєвий процес, описаний у цьому розділі. «Фосфоресценція» подібна до флуоресценції — вона складається з молекул, що поглинають височастотне світло й випромінюють низькочастотне світло, але молекули, що фосфоресцирують, поглинають світло подібно до акумуляторної батареї та продовжують світитися ще довго після вимкнення світла. Очевидно, що назви «флуоресценція» та «фосфоресценція» походять від елементів періодичної системи фтору та фосфору — двох найвидатніших елементів у молекулах, які вперше продемонстрували ці риси хімікам.

с. 209 «за вісімдесят років, під час революції кремнієвих напівпровідників».

Закон Мура стверджує, що кількість кремнієвих транзисторів на мікрочипі подвоюватиметься кожні вісімнадцять місяців — дивно, але це справедливо з 1960-х. Якби закон стосувався алюмінію, за два десятиліття після запуску *Alcoa* виробляла би 400 000 фунтів алюмінію на день, а не 88 000. Тож алюміній порався добре, але недостатньо добре, щоби перемогти свого сусіда в періодичній таблиці.

с. 209 «володів акціями *Alcoa* на суму 30 млн доларів».

Існують певні розбіжності щодо величини багатства Чарлза Голла після його смерті. Тридцять мільйонів доларів — це верхня межа діапазону оцінок. Причиною плутанини може бути те, що Голл помер 1914 року,

але обсяг його майна було встановлено лише за чотирнадцять років. Третина його майна дісталася Коледжу Оберлін.

с. 209 «орфографічна розбіжність».

Окрім відмінностей між мовами, інші розбіжності в орфографії трапляються з цезієм, який британці схильні писати «*caesium*» замість «*cesium*», та сіркою, чию назву «*sulfur*» багато людей все ще пишуть «*sulphur*». Ви можете довести, що елемент сто десять повинен писатися «менделеевій», а не «менделевій», а елемент сто одинадцять — «*röntgenium*», а не «*roentgenium*».

14. Художні елементи

с. 211 «Сибіл Бедфорд могла писати».

Цитата з роману Сибіл Бедфорд «Спадщина».

с. 212 «скільки хобі».

Говорячи про дивні захоплення, я не можу не поділитися цим у книжці, сповненій вигадливих історій про елементи. Наведена нижче анаграма виграла приз спеціальної категорії за травень 1999 року на вебсайті *Anagrammy.com*, і, як на мене, ця «подвійна анаграма» — загадка слова тисячоліття. Перша половина прирівнює тридцять елементів періодичної таблиці до тридцяти інших елементів:

водень + цирконій + олово + кисень + реній + платина + телур +
 + тербій + нобелій + хром + залізо + кобальт + вуглець + алюміній +
 + рутеній + кремній + ітербій + гафній + натрій + селен + церій +
 + манган + осмій + уран + нікель + празеодим + ербій + ванадій +
 + талій + плутоній

=

азот + цинк + родій + гелій + аргон + нептуній + берилій + бром +
 + лютецій + бор + кальцій + торій + ніобій + лантан + ртуть + фтор +
 + бісмут + актиній + срібло + цезій + неодим + магній + ксенон +
 + самарій + скандій + європій + берклій + паладій + стибій + тулій.

Це досить дивно, навіть якщо кількість закінчень *-ий* трохи пом'якшила труднощі. Фокус полягає в тому, що в разі заміни кожного елемента його атомним номером анаграма все одно балансує:

1 + 40 + 50 + 8 + 75 + 78 + 52 + 65 + 102 + 24 + 26 + 27 + 6 + 13 + 44 +
 + 14 + 70 + 72 + 11 + 34 + 58 + 25 + 76 + 92 + 28 + 59 + 68 + 23 + 81 + 94

=

7 + 30 + 45 + 2 + 18 + 93 + 4 + 35 + 71 + 5 + 20 + 90 + 41 + 57 + 80 +
 + 9 + 83 + 89 + 47 + 55 + 60 + 12 + 54 + 62 + 21 + 63 + 97 + 46 + 51 + 69

=

1416.

Як зазначив автор анаграми Майк Кіт, «це найдовша з усіх колись побудованих подвійно-правильних анаграм (з використанням хімічних елементів або будь-якого іншого набору цього типу, наскільки мені відомо)».

Крім цього, є також незрівнянна пісня Тома Лерера «*The Elements*». Він адаптував мелодію з «*I Am the Very Model of a Modern Major-General*» Гілберта і Саллівана, і в ній він називає кожен елемент періодичної таблиці за жваві вісімдесят шість секунд. Подивіться це на *YouTube*: «Тут є стибій, арсен, алюміній, селен...»

с. 213 «плутоністами».

Плутоністів іноді також називали вулканістами, за іменем бога вогню Вулкана. Цей псевдонім підкреслював роль вулканів у формуванні гірських порід.

с. 215 «зі стовпців Деберайнера».

Деберайнер назвав свої групи елементів не тріадами, а спорідненостями, частиною своєї більшої теорії хімічних спорідненостей — терміном, що надихнув Гете (який часто відвідував лекції Деберайнера в Єні) на назву «Виборні спорідненості».

с. 216 «за кілька дюймів від величності».

Ще одним величним дизайном, натхненним елементами, є дерев'яний періодичний стіл — журнальний столик, побудований Теодором Греєм. Стіл має зверху понад сто слотів, у яких Греї зберігає зразки кожного елемента, зокрема багато виключно штучних. Звичайно, у нього є лише незначні кількості. Його зразки францію та астата, двох найрідкісніших природних елементів, насправді є шматками урану. Аргумент Грея полягає в тому, що десь глибоко всередині цих шматків є принаймні кілька атомів кожного з них, що є правдою і, чесно кажучи, відповідає загальній картині, бо вчені отримали мізерну кількість цих елементів. До того ж, оскільки більшість елементів — це сірі метали, їх у будь-якому разі важко відрізнити.

с. 218 «рутений почав закривати кожен *Parker 51* із 1944 року».

Детальніше про металургію ручки *Parker 51* можна прочитати в статті «Хто була ця людина?» Данієля А. Зазове та Л. Майкла Фульца, що з'явилася восени 2000 року у випуску *Pennaut*, домашньому виданні організації американських колекціонерів ручок (PCA). Стаття є прекрасним прикладом оповіді відданого аматора — збереження незрозумілого, але чарівного шматочка американської історії. До інших ресурсів інформації про ручку *Parker* належать *Parker51.com* та *Vintagepens.com*.

Знаменитий наконечник *Parker 51* насправді складався з 96 % рутенію та 4 % іридію. Компанія рекламувала перо як виготовлене з надміцного

«платенію», мабуть, щоб увести в оману конкурентів, примусивши їх думати, що ключовою складовою є дорога платина.

с. 219 «який компанія все-таки надрукувала».

Ось текст листа, що Твен надіслав *Remington* (компанія надрукувала дослівно):

«Панове! Будь ласка, не використовуйте мого імені в жодний спосіб. Будь ласка, не розголошуйте той факт, що я є власником машини. Я повністю перестав користуватися нею з тієї причини, що ніколи не міг написати нікому листа, бо у відповідь мене обов'язково просять не лише описати машину, але й розповісти, якого прогресу я досяг в її використанні тощо, тощо. Я не люблю писати листи, і тому я не хочу, аби люди знали, що я є власником цього маленького жартівника, котрий породжує цікавість. З повагою, Семюель Л. Клеменс».

15. Елемент божевілля

с. 225 «патологічна наука».

Заслуга створення терміна «патологічна наука» належить хіміку Ірвінгу Ленгмюру, який виголосив про це промову в 1950-х. Дві цікаві примітки про Ленгмюра. Він був тим молодшим, яскравішим колегою, чия Нобелівська премія та нахабство за обідом могли змусити Гілберта Льюїса вбити себе (див. Розділ 1). Пізніше Ленгмюр став одержимий контролем погоди за допомогою засівання хмар — заплутаного процесу, який надзвичайно близький до того, щоби стати патологічною наукою. Навіть великі не застраховані.

Написавши цей розділ, я дещо відійшов від наданого Ленгмюром опису патологічної науки, який був досить вузьким і формальним. Інший погляд на значення патологічної науки походить від Деніса Руссо, який 1992 року написав для *American Scientist* найвищої якості статтю під назвою «Тематичні дослідження в патологічній науці». Однак я також віддаляюся й від Руссо, здебільшого щоби додати науки на кшталт палеонтології, що не настільки керована даними, як інші, більш відомі випадки патологічної науки.

с. 226 «Філіп помер у морі».

Філіп Крукс, брат Вільяма, загинув на судні, що проклало деякі з перших трансатлантичних кабелів для телеграфних ліній.

с. 227 «надприродних сил».

Вільям Крукс мав містичний, пантеїстичний, похідний від Спінози погляд на природу, у якому все бере участь в «єдиному виді матерії». Це, вірогідно, пояснює, чому він гадав, що зможе спілкуватися з привидами та духами, оскільки був частиною того самого матеріалу. Однак, якщо замислитися, ця думка досить дивна, оскільки Крукс створив собі

ім'я, відкриваючи нові елементи — які за визначенням є різними формами матерії!

с. 229 «з манганом та мегалодоном».

Більш докладно про зв'язок між мегалодоном та манганом написав Бен С. Реш, який восени 1998 року опублікував у *The Cryptozoology Review* (що за слово — «криптозоологія»!) статтю, де оцінюється, наскільки неможливою є думка, що мегалодон вижив, і переглянув цю тему 2002 року.

с. 230 «розпочалася з мангану».

Стосовно іншого дивного зв'язку між елементами та психологією Олівер Сакс зазначає в «Пробудженні», що передозування мангану може завдати шкоди людському мозку та спричинити той самий вид хвороби Паркінсона, який він лікував у своєму шпиталі. Звичайно, це рідкісна причина хвороби Паркінсона, і лікарі не зовсім розуміють, чому цей елемент націлений на мозок замість, як більшість токсичних елементів, переслідувати інші життєво важливі органи.

с. 232 «дюжину африканських слонів-самців».

Розрахунок маси слонів-самців зроблено в такий спосіб. За даними зоопарку Сан-Дієго, найбільший із колись зафіксованих слонів важив приблизно 24 000 фунтів (майже 11 тонн). Люди та слони складаються з однієї основної речовини — води, тому їхня густина однакова. Щоби з'ясувати відносний об'єм, якби в людей був апетит до паладію, ми можемо просто помножити масу 250-фунтової людини (113 кг) на 900 і розділити це число (225 000) на масу слона. Це дає 9,4 слона — проковтнутого. Але пам'ятайте, що то був найбільший слон за всю історію, який мав заввишки 13 футів (приблизно 4 м) біля плечей. Вага звичайного слона-самця ближче до 18 000 фунтів, що дає приблизно дюжину проковтнутих тварин.

с. 235 «кращий і стисліший опис патологічної науки».

Статтю Девіда Гудштейна про холодний синтез було озаглавлено «Що б не сталося з холодним синтезом?». Вона з'явилася восени 1994 року у випуску *American Scholar*.

16. Шлях хімії, шлях нижче нуля

с. 244 «звинуватити неупереджену хімію виявилось простіше».

Теорія, згідно з якою олов'яна чума прирекла Роберта Фолкона Скотта, схоже, виникла в статті *The New York Times*, хоча ця стаття висунула гіпотезу, що невдалими були самі банки-контейнери, у яких команда Скотта зберігала продукти харчування та інші припаси. Лише згодом люди почали звинувачувати у розпаді олов'яний припій. Існує також неймовірно багато варіацій того, що саме, за твердженнями істориків,

Скотт використовував для припою: ідеться і про шкіряні пломби, і про чисте олово, і про олов'яно-свинцеву суміш тощо.

с. 244 «вирушають у вільне плавання».

Плазма насправді є найпоширенішою формою матерії у Всесвіті, оскільки вона є основною складовою зір. Ви можете знайти плазму (хоч і дуже холодну) у верхів'ях земної атмосфери, де космічні промені сонця іонізують ізольовані молекули газу. Ці промені допомагають створювати на крайній півночі моторошні природні світлові шоу, відомі як полярне сяйво. Такі швидкісні зіткнення також породжують антиматерію.

с. 244 «суміш двох станів».

Інші колоїди, крім желе, — це туман, збиті вершки та деякі типи кольорового скла. Тверді піни, згадані в Розділі 17, у яких газову фазу вкраплено по твердому тілу, також є колоїдами.

с. 245 «кристал із ксеноном».

Бартлетт провів вирішальний експеримент із ксеноном у п'ятницю, і підготовка забрала в нього цілий день. Коли вчений розбив скляну плумбу й побачив, як відбувається реакція, було вже після 19:00. Його це так схвилювало, що він вискочив у коридор свого лабораторного корпусу і почав гукати колег. Але всі вони вже поїхали додому на вихідні, тож він мусив святкувати наодинці.

с. 248 «Роберта Шріффера».

У моторошній кризі похилого віку один із тріо БКШ, Шріффер, убив двох людей, паралізував одну людину та поранив ще п'ятьох у жакливій автомобільній катастрофі на каліфорнійській трасі. Після дев'яти штрафів за перевищення швидкості сімдесятичотирирічного Шріффера тимчасово позбавили прав, але він таки вирішив проїхати на своєму новому спортивному «мерседесі» із Сан-Франциско до Санта-Барбари і мчав зі швидкістю далеко за тризначною позначкою. Попри такі цифри, він якось зумів заснути за кермом і вривався у фургон зі швидкістю 111 миль/год (178 км/год). Він мав бути засуджений до восьми місяців окружної тюрми, доки родини жертв не дадуть свідчень, але суддя сказав, що Шріффер «повинен скуштувати смаку в'язниці штату». *Associated Press* цитує його колишнього колегу Леона Купера, який із недовірою бурмотів: «Це не той Боб, з яким я працював... Це не той Боб, якого я знав».

с. 251 «майже».

Тепер, щоби трохи пом'якшити своє жорстке формулювання, спробую пояснити, чому багато людей пов'язують принцип невизначеності з ідеєю, що вимірювання чогось змінює те, що ви намагаєтеся виміряти, — це називається «ефект спостерігача». Фотони світла — це найдрібніші інструменти, якими вчені повинні досліджувати речі, але фотони не набагато менші за електрони, протони та інші частинки. Тому вико-

ристання відбиття від них фотонів для вимірювання їхнього розміру або швидкості — це все одно, що спробувати виміряти швидкість самоскида, врізавшись у нього легковиком. Ви, звичайно, отримаєте інформацію, але ціною збиття самоскида з курсу. І в багатьох первинних експериментах квантової фізики спостереження за обертанням частинки, її швидкістю чи положенням моторошно змінює реальність експерименту. Однак, хоча справедливо сказати, що ви повинні розуміти принцип невизначеності, аби зрозуміти будь-які зміни, які відбуваються, причиною самої зміни є «ефект спостерігача» — зовсім інший феномен.

Звичайно, здається ймовірним, що справжня причина, з якої люди плутають ці два явища, полягає в тому, що нам як суспільству потрібна метафора зміни чогось шляхом акту його спостереження, а принцип невизначеності задовольняє цю потребу.

с. 253 «ніж “правильна” теорія».

Помилка Бозе була статистичною. Якщо ви хочете зрозуміти шанси отримати одного орла і одну решку на два підкидання монети, то можете визначити правильну відповідь (тобто «половину»), розглянувши всі чотири можливості: ОО, РР, РО і ОР. Бозе переважно трактував РО і ОР як однаковий результат і тому отримав відповідь «третина».

с. 255 «Нобелівську премію за 2001 рік».

Університет Колорадо має чудовий вебсайт, присвячений поясненню конденсату Бозе—Айнштайна (БАК), що містить низку комп'ютерних анімацій та інтерактивних інструментів: <http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/>.

Корнелл та Віман поділилися своєю Нобелівською премією з Вольфгангом Кеттерле, німецьким фізиком, який також створив БАК незабаром після них і допоміг дослідити його незвичні властивості. На жаль, Ерік Корнелл майже втратив шанс насолодитися життям лауреата Нобелівської премії. За кілька днів до Гелловіна 2004 року він був госпіталізований із діагнозом «грип» і болями в плечі, а потім впав у кому. Проста стрептококова інфекція метастазувала в некротизуючий фасцит — важку інфекцію м'яких тканин, яку часто називають хворобою м'ясоїдних бактерій. Хірурги ампутували йому ліву руку та плече, щоби зупинити зараження, але це не допомогло. Корнелл залишався напівживим протягом трьох тижнів, поки лікарі остаточно не стабілізували його стан. Пізніше він таки одужав.

17. Сфери блиску

с. 268 «повністю віддатися вивченню миготливих бульбашок».

Путтерман писав про закоханість у сонолюмінесценцію та свою професійну роботу з цього питання в лютому 1995 року числі *Scientific*

American, а також травневого 1998 року та серпневого 1999 року числах *Physics World*.

с. 270, «наука про бульбашки мала досить міцну основу».

Один теоретичний прорив у дослідженні бульбашок зрештою зіграв цікаву роль на Олімпійських іграх 2008 року в Китаї. 1993 року два фізики з Дублінського Трініті Коледжу, Роберт Фелан та Деніс Вайр, придумали нове рішення «проблеми Кельвіна»: як створити пухирчасту пінну структуру з якомога меншою площею поверхні. Кельвін запропонував створити піну з багатокутних бульбашок, кожна з яких мала чотирнадцять сторін, але ірландський дует перевершив його комбінацією дванадцяти- та чотирнадцятигранних фігур, зменшивши площу поверхні на 0,3 %. Під час Олімпійських ігор 2008 року архітектурна фірма спиралася на роботу Фелана та Вайра, щоби створити в Пекіні знамените місце для плавання — «коробку з бульбашками» (відому як «Водний куб»), де відбувся неймовірний виступ Майкла Фелпса.

І щоби нас не звинуватили в позитивному упередженні, іншою активною сферою досліджень у наш час є «антибульбашки». Замість бути тонкими сферами рідини, що затримують частину повітря (як бульбашки), антибульбашки — це тонкі сфери повітря, котрі затримують трохи рідини.

Природно, що, замість підніматися, вони тонуть.

18. Інструменти смішної точності

с. 274 «відкалібровують калібратори».

Першим кроком у запиті на нове калібрування офіційного кілограма країни є відправлення факсу у формі (1) з детальним описом, як ви будете перевозити свій кілограм через безпеку аеропорту та французьку митницю, та (2) уточненням, чи хочете ви, щоби *VIPM* промило його до і після того, як зробить вимірювання. Офіційні кілограми промиваються у ванні з ацетоном, основним інгредієнтом засобу для зняття лаку для нігтів, після чого висушуються марлею без ворсу. Після первинного миття та після кожної обробки команда *VIPM* дозволяє кілограму стабілізуватися протягом декількох днів, перш ніж знову його торкатися. З усіма циклами очищення та вимірювання процес калібрування може легко затягнутися на місяці.

Насправді США мають два платино-іридієвих кілограми, K20 і K4, причому K20 є офіційною копією просто тому, що вона перебуває у США більше часу. У США також є три цілком офіційні копії з нержавіючої сталі, дві з яких NIST придбав за останні кілька років. (Густина нержавіючої сталі менша, ніж у платиново-іридієвого сплаву, тому вони більші за справжні еталони.) Така процедура, разом із головним болем під час

транспортування, пояснює, чому Зейна Джаббур не поспішає відправляти K20 до Парижу: порівняти його з нещодавно відкаліброваними сталевими циліндрами майже так само добре.

За минуле століття ВІРМ тричі викликало до Парижу всі офіційні національні кілограми світу для масового калібрування, але найближчим часом це не планується робити.

с. 276 «цих точних налаштувань».

Щоби бути скрупульозними, цезієві годинники засновані на надтонкому розщепленні електронів. Тонке розщеплення електронів нагадує різницю в пів тону, тоді як надтонке розщеплення — різницю у чверть тону або навіть у восьму частину тону.

На сьогоднішній день цезієві годинники залишаються світовим стандартом, але в більшості застосувань їх замінили рубідієві — менші та мобільніші. Насправді рубідієві годинники часто перевозять по всьому світу для порівняння та узгодження норм часу в різних частинах планети, подібно до міжнародного прототипу кілограма.

с. 278 «талант до нумерології».

Приблизно в той самий час, коли Еддінгтон працював над альфою, великий фізик Пол Дірак уперше популяризував ідею змінних. На атомному рівні електричне тяжіння між протонами та електронами зменшує гравітаційне тяжіння між ними. Насправді цей коефіцієнт становить приблизно 10^{40} — що є незбагненним! — 10 000 трильйонів трильйонів трильйонів разів. Крім того, Дірак також поцікавився тим, як швидко електрони пересуваються між атомами, і порівняв цю частку наносекунди з часом, необхідним променям світла, щоби пронизати весь Усесвіт. Неочікувано, але співвідношення також склало 10^{40} .

І, як можна було передбачити, що більше Дірак шукав, то більше виридало це співвідношення: розмір Усесвіту порівняно з розміром електрона; маса Всесвіту порівняно з масою протона і так далі. (Еддінгтон також якось засвідчив, що у Всесвіті було приблизно 10^{40} разів по 10^{40} протонів та електронів — ще один прояв.) Загалом Дірак та інші переконалися, що якийсь невідомий закон фізики змусив ці співвідношення бути однаковими. Єдина проблема полягала в тому, що деякі коефіцієнти базувалися на змінних числах, як-от розмір Усесвіту, що постійно розростається! Щоби зберегти рівні співвідношення, Дірак удався до радикальної ідеї,— що гравітація з часом слабшає. Єдине правдоподібне пояснення, як це могло статися, це якби фундаментальна гравітаційна стала G зменшилась.

Ідея Дірака розвалилася досить швидко. Серед інших вад, на які вказували вчені, було те, що яскравість зір сильно залежить від G , і якби G була набагато вище в минулому, на Землі не було б океанів, оскільки

надмірно яскраве Сонце випарувало б їх. Але пошуки Дірака надихнули інших. У розпал цього дослідження, у 1950-х, один учений навіть висловив припущення, що всі основні сталі постійно зменшуються,— а це означало, що Всесвіт не збільшувався, як прийнято вважати, але Земля і люди зменшувалися! Загалом історія змінних нагадує історію алхімії: навіть коли існує справжня наука, важко відірвати її від містики. Учені зазвичай посилаються на змінні, щоби пояснити космологічні таємниці, які можуть спричинити проблеми певної епохи, як-от прискорення Всесвіту.

с. 281 «деякі австралійські астрономи».

Детальніше про роботу австралійських астрономів можна дізнатися зі статті, яку один із них, Джон Вебб, написав для видання *Physics World* за квітень 2003 року. Вона має назву «Чи змінюються закони природи з часом?» Я також узяв інтерв'ю в колеги Вебба, Майка Мерфі, у червні 2008 року.

с. 282 «можливість зміни фундаментальної константи».

В інших альфа-розробках учені вже давно ставлять запитання, чому фізики у всьому світі не можуть домовитися про швидкість розпаду ядер певних радіоактивних атомів. Експерименти є простими, тому немає жодної причини, чому різні групи повинні отримувати різні відповіді, проте розбіжності зберігаються щодо багатьох елементів: кремнію, радію, мангану, титану, цезію тощо.

Намагаючись вирішити цю загадку, учені з Англії зазначали, що групи повідомляли про різну частоту розпаду в різні пори року. Тоді англійська група винахідливо припустила, що, можливо, константа тонкої структури змінюється, коли Земля обертається навколо Сонця, оскільки Земля в певні пори перебуває ближче до Сонця. Існують й інші можливі пояснення, чому швидкість розпаду буде змінюватися періодично, але зміни альфи є одним із найбільш цікавих пояснень, і було б дуже захопливо, якби альфа справді так сильно змінювалася навіть у нашій власній Сонячній системі!

с. 282 «від самого початку».

Парадоксально, але одна група, яка справді підтримує вчених у пошуках доказів зміни альфи,— це християнські фундаменталісти. Якщо поглянути на основну математику, серед іншого альфа визначається з погляду швидкості світла. Хоча це трохи спекулятивно, існують шанси на те, що якби альфа змінювалася, змінилася б і швидкість світла. Зараз усі, зокрема креаціоністи, погоджуються, що світло від далеких зір несе (або принаймні *здається*, що може нести) інформацію про події, які відбувалися мільярди років тому. Щоби пояснити кричущу протиріччя між цією інформацією та хронологією в книжці Буття, деякі креа-

ціоністи стверджують, що Бог створив Усесвіт, де вже рухалися потоки світла, щоби перевірити вірян і змусити їх обрати Бога чи науку. (Вони висувають подібні твердження щодо кісток динозаврів.) Менш радикальних креаціоністів не влаштовує ця ідея, оскільки вона зображує Бога як оманливого, навіть жорстокого. Однак якби швидкість світла раніше була в мільярди разів більшою, проблема зникла б. Бог усе ще міг створити землю шість тисяч років тому, але наше незнання про світло та альфу затуляло цю істину. Достатньо сказати, що багато вчених, які працюють над змінами констант, жахаються, що їхня робота привласнюється в такий спосіб, але серед дуже небагатьох людей, які практикують те, що можна назвати «фундаменталістська фізика», дослідження зміни констант є дуже спекотним полем.

с. 283 «лише пустотливе».

Є відомий портрет Енріко Фермі біля чорної дошки, на якій записане рівняння для визначення альфи, константи тонкої структури. Дивна річ у цій картині полягає в тому, що у Фермі це рівняння частково наведено догори дригом. Фактичне рівняння — $\alpha = e^2/(\hbar c)$, де e = заряд електрона, \hbar = поділена на 2π стала Планка (h), а c = швидкість світла. Рівняння на фото має вигляд «альфа = $\hbar^2/(ec)$ ». Незрозуміло, чи Фермі допустив чесну помилку, чи трохи пожартував з фотографа.

с. 283 «Дрейк спочатку обчислив».

Якщо ви хочете докладніше розглянути рівняння Дрейка, ось воно. Кількість цивілізацій у нашій Галактиці, які намагаються з нами зв'язатися, N , нібито дорівнює:

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times L,$$

де R^* — швидкість утворення зір у нашій місцевій Галактиці; f_p — частка зір, що утримують планети; n_e — середня кількість придатних для життя планет на одну таку зорю; f_p , f_i та f_c — відповідно частки гостинних планет із життям, розумним життям та комунікабельним життям, охочим до спілкування; L — тривалість часу, коли інопланетні раси посилають сигнали в космос, перш ніж зникають.

Оригінальні цифри, якими керувався Дрейк, були такими: наша Галактика продукує десять зір на рік ($R^* = 10$); половина цих зір має планети ($f_i = 1/2$); кожна така зоря має дві придатні для життя планети ($n_e = 2$, хоча в нашій власній Сонячній системі таких сім або близько того — Венера, Марс, Земля та кілька супутників Юпітера та Сатурна); на одній із цих планет розвивається життя ($f_i = 1$); 1 % цих планет досягне розумного життя ($f_i = 1/100$); 1 % цих планет розвине життя після печерної людини, здатне передавати сигнали в космос ($f_c = 1/100$); і вони будуть робити це протягом десяти тисяч років ($L = 10\,000$). Помножте все це — і ви отримаєте десять цивілізацій, які намагаються спілкуватися із Землею.

Думки щодо цих значень різняться — іноді аж занадто. Дункан Форган, астрофізик з Единбурзького університету, нещодавно провів симуляцію рівняння Дрейка методом Монте-Карло. Він подавав випадкові значення для кожної зі змінних, а потім обчислював результат кілька тисяч разів, щоби знайти найбільш імовірне значення. І якщо Дрейк уважав, що з нами намагаються зв'язатися десять цивілізацій, Форган отримав 31 574 цивілізації лише в нашій місцевій Галактиці. Стаття доступна за адресою <http://arxiv.org/abs/0810.2222>.

19. Понад (і поза) періодичною таблицею

с. 290 «перевагу отримує то одна сила, то інша».

Третя з чотирьох основних взаємодій — це слабка ядерна взаємодія, котра визначає, як атоми зазнають бета-розпаду. Цікаво, що франції перебуває в постійній боротьбі, яку ведуть сильна ядерна та електромагнітна взаємодії всередині його атомних ядер, проте елемент розв'язує цю ситуацію, апелюючи до слабкої ядерної взаємодії.

Четверта фундаментальна взаємодія — сила тяжіння. Сильна ядерна взаємодія в сто разів сильніша за електромагнітну, а електромагнітна — у сто мільярдів разів сильніша за слабку. Слабка ядерна взаємодія, зі свого боку, у десять мільйонів мільярдів мільярдів разів сильніша за силу тяжіння. (Щоби дати вам відчуття масштабу, це те саме число, яке ми використовували для обчислення рідкості астата.) Сила всесвітнього тяжіння домінує в нашому повсякденному житті лише тому, що сильні та слабкі ядерні взаємодії мають дуже малу відстань охоплення і баланс протонів та електронів навколо нас достатньо стабільний, щоби нівелювати більшість електромагнітних сил.

с. 292 «є ун-бі-бієм».

Після десятиліть, коли вченим доводилося копітко будувати надважкі елементи, атом за атомом, 2008 року ізраїльські вчені заявили, що знайшли елемент сто двадцять два, повернувшись до хімії старого зразка, тобто після просіювання природного зразка торію, хімічного двоюрідного брата 122-го в періодичній таблиці. Протягом кількох місяців команда на чолі з Амномом Маріновим стверджувала, що ідентифікувала ряд атомів надважкого елемента. Божевільна частина цього сповіщення полягала не лише у твердженні, що такий старомодний метод дав новий елемент; ні, це було твердження, що елемент сто двадцять два мав період напіврозпаду понад 100 млн років! Насправді це було таким божевільним, що в багатьох учених виникли підозри. Твердження здавалося все хиткішим й хиткішим, але принаймні станом на кінець 2009 року ізраїльтяни не відступили від своїх претензій¹.

¹ На кінець 2020 року теж.— Прим. перекл.

с. 292 «про колишне домінування в науці латини».

Щодо занепаду латини, за винятком періодичної таблиці: з якоїсь причини, коли члени західнонімецької команди 1984 року отримали елемент сто вісім, вони вирішили назвати його «гассій» — від латинської назви частини Німеччини (Гессен), замість дати назву «дойчландій» або якимось на кшталт цього.

с. 296 «прямокутними фігурами».

Це не нова версія періодичної системи, але, звичайно, новий спосіб її подання. В Оксфорді, Англія, містом їздять таксі та автобуси із зображенням періодичної системи. Їх розмальовано від шин до даху різними стовпцями та рядами елементів, переважно в пастельних тонах. Цей рухомий склад фінансується Оксфордським науковим парком. Ви можете побачити зображення за адресою <http://www.oxfordinspires.org/newsfromImageWorks.htm>.

Ви також можете переглянути періодичну таблицю понад двома сотнями різних мов, зокрема мертвими, як-от коптська та єгипетська ієрогліфічна, на вебсайті <http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/vyhledav/chemici2.html>.

Бібліографія

Нижче я наводжу далеко не всі книжки, до яких звертався під час свого дослідження, і ви можете знайти більше інформації про мої джерела в розділі «Примітки та виправлення помилок». Це просто найкращі книжки для загальної аудиторії, якщо ви хочете більше дізнатися про періодичну таблицю або різні елементи в ній.

Patrick Coffey. *Cathedrals of Science: The Personalities and Rivalries That Made Modern Chemistry*. Oxford University Press, 2008.

John Emsley. *Nature's Building Blocks: An A–Z Guide to the Elements*. Oxford University Press, 2003.

Sheilla Jones. *The Quantum Ten*. Oxford University Press, 2008.

T. R. Reid. *The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution*. Random House, 2001.

Richard Rhodes. *The Making of the Atomic Bomb*. Simon & Schuster, 1995.

Oliver Sacks. *Awakenings*. Vintage, 1999.

Eric Scerri. *The Periodic Table*. Oxford University Press, 2006.

Glenn Seaborg and Eric Seaborg. *Adventures in the Atomic Age: From Watts to Washington*. Farrar, Straus and Giroux, 2001.

Tom Zoellner. *Uranium*. Viking, 2009.

Алфавітний покажчик

Примітка: Елементи вказано жирним шрифтом.

А

- абсолютний нуль, 254, 298
- Австралія, 89, 200, 266, 281–282, 329
- Айнштайн, Альберт, 50, 53, 115, 245, 248, 253–254, 282, 285, 292–293
- айнштайній (Es)**, 293
- актиній (Ac)**, 191, 295, 321
- алмази, 65–66, 243
- алхімія, 6, 8, 10, 301, 329
- акварегія, 190
- Беттгер, Йоганн Фрідріх, 54–55
- Гете, Йоганн Вольфганг фон, 213
- Парацельс, 125
- ртуть, 313
- стибій, 302
- трансмутація, 262
- Альварес, Волтер, 70–71
- Альварес, Луїс, 70–73, 96, 258
- альфа- 278–282, 285, 293, 329–330
- бета-перехід, 243–246
- бомбардування, 109
- варіації, 285
- розпад, 96–97, 291
- спіралі, 131–134
- форма, 243
- частинки, 109–111, 116, 119, 149, 262–264, 288
- алюміній (Al)**, 52, 67, 87, 207–209, 236, 297, 320–322
- Американське хімічне товариство, 233
- америчій (Am)**, 109, 149
- аміак, 78, 81, 309
- амінокислоти, 33–34, 131, 137, 141, 156, 173, 303–304
- Амундсен, Руаль, 242
- антибіотики, 155, 162, 222
- антиелектрони, 135, 296
- антипротони, 135, 296, 312
- антисептики, 151
- аргірія, 154–155, 314
- аргон (Ar)**, 18, 176, 246–247, 269, 321
- арсен (As)**, 45–46, 114, 322
- астат (At)**, 94, 144, 287–289, 291, 322, 331
- астероїди, 36, 69, 71–73, 254, 258, 307
- астрономічний час, 275, 277
- асфіксія (задушення), 170, 316
- атоми,
- альфа-бета-переходи, 243–246
- електрони й оболонки, 18, 25–26, 29, 152, 188, 293
- електронні промені, 92, 104, 236, 252
- млинці, 298
- надпровідність, 233, 244, 247–248, 253
- періодична система, 256

правило октету, 19, 33, 144, 298
принцип невизначеності, 250–252,
254, 325–326
стани речовини, 37, 244–247, 253,
255
суператоми, 296, 298
цезій, 276–277

атомна маса, 28, 68, 305
вуглець, 68
Менделєєв, Дмитро, 49, 176
свинець, 96–97

атомний номер, 24, 28, 34–35, 45, 54,
92–93, 97, 111, 117–120, 127, 142,
321

атомні бомби, 24, 95, 98, 100–101, 140,
290, 294, 308
брудні бомби, 103
кобальтові бомби, 104
Мангеттенський проект, 99
метод Монте-Карло, 98, 103
Радянський Союз, 115–116

атомні годинники, 223, 276–277, 281,
328

Б

БАК (конденсат Бозе—Айнштайна),
252, 254, 298, 326

бактерії, 151, 158, 161, 264, 284, 312,
326

Бардін, Джон, 39–42, 248, 304

барій (Ba), 194, 209, 215, 236–237, 320

Бартлетт, Ніл, 245, 325

Бедфорд, Сибіл, 211, 321

Бекон, Френсіс, 31, 302

Белла лабораторія, 39–40, 248

Берг, Отто, 126–127

берилій (Be), 63, 124, 172–173, 175,
282, 317, 321

берклій (Bk), 106, 109–110, 117, 321

бета-розпад, 97, 146, 291, 315, 331

бета-частинки, 262, 288

Беттгер, Йоганн Фрідріх, 54–56

білі карлики, зорі, 63

білки, 33–35, 175, 268, 303–304, 311
амінокислоти, 33, 141, 156, 173
ДНК, 132, 153
добовий ритм, 223
Полінг, Лайнус, 131
хіральність, 316

біноміальна система видів, 292

Біо, Жан-Батіст, 157

бісмут (Bi), 142–144, 321

благородні гази, 15, 18, 24–25, 28, 48,
245–246, 292, 296, 298
бісмут, 144
гелій, 263
назви, 212
таблиця Менделєєва, 49

Бозе, Шатъендранат, 252–253, 281, 326

бор (B), 22–23, 63, 321

борій (Bh), 118, 320

Бор, Нільс, 93, 188–191, 250–251, 293

Браге, Тихо, 150–151, 313

Браттейн, Волтер, 39–41, 304

Брегг, Вільям, 134–135

Бренемарк, Пер-Інгвар, 170–171, 236

бром (Br), 15, 77, 80, 82, 215, 296–297,
321

броньбійні боеприпаси кінетичної
дії, 86

бронза, 198–199

брудні бомби, 103

бульбашки, 235, 256–257, 260–262,
266, 267–270, 327
антибульбашки, 327
гелій, 264
кальцій, 259
камери, 257–258, 266

Бунзена пальник, 45, 47, 147

Бунзен, Роберт, 45–48, 51, 56, 204, 306

Бюро стандартів, 272–273, 276

В

важка вода, 232, 234–235, 318–319
важкий водень, 232–233, 318

важкі метали, 114, 140–141, 143, 292
 вакцина проти сказу, 157, 159, 315
 вакцини, 157, 159
 та ртуть, 301
 ванадій (V), 116, 152, 314, 321
 Велика Берта, гармата, 82–84
 Велика Британія, 79, 85–86, 260
 оподаткування, 176
 Великого вибуху, теорія, 61, 278, 283
 взаємне гарантоване знищення, 105
 вимирання, 70–73, 96
 вимірювання маси, 324, 327
 винна кислота, 156–157
 відносність, 50, 114, 204, 248, 276, 278,
 292–294
 Вілер, Джон Арчибальд, 266–267
 Віман, Карл, 254–255, 326
 вірус тютюнової мозаїки, 32–33, 303
 вода, 6, 259, 318
 важка, 190, 232, 235, 318
 ванадієва, 152
 кислотність, 22
 Окло, 279–280
 фторована, 113
 водень (H), 21, 33, 46, 104, 174, 232,
 258, 321
 важкий, 233, 308
 газоподібний, 232, 246
 досліди Габера, 78
 згоряння, 62–63
 зорі, 62, 74
 кислоти, 21
 металевий, 65–67
 поширеність, 28, 287
 синтез, 145
 Вольта, Алессандро, 174
 вольфрам (W), 82, 84–87, 314
 Вотсон, Джеймс, 133–136, 232, 304, 311
 вуглець (C), 17, 34–35, 68, 285, 304,
 316, 321
 амінокислоти, 33, 131
 цукри, 38

вулкани, 36–38, 46, 62, 71, 165, 213,
 259, 285, 292, 322
 вулканізований каучук, 125

Г

Гаазька конвенція, 76–77
 Габбл, космічний телескоп, 284
 Габер, Фріц, 77–79, 81–83, 302, 308
 «захоплення» азоту, 78
 хімічна зброя, 80
 гадоліній (Gd), 58, 87, 152–154
 Гадолін, Юган, 57–58
 газові гіганти, планети, 64, 67
 газоподібні елементи, 37, 77, 232, 234,
 244, 246, 261, 316
 галій (Ga), 51–53, 212
 гамма-випромінювання, 103
 гамма-розпад, 96
 Ган, Девід, 144–147, 149, 313
 Ганнанова знахідка, 200–202
 Ган, Отто, 96, 117, 191–196, 319
 гасій (Hs), 118
 Гаттон, Джеймс, 264
 гафній (Hf), 94, 188–189, 318, 321
 Гевеші, Дьєрдь, 186–191, 194, 318
 Гейзенберг, Вернер, 250
 гелій (He), 16, 28, 66, 74, 228, 233, 246,
 264, 287, 301, 321
 альфа-частинки, 262–263
 надплинність, 23
 надрідкий, 253
 незалежність, 18
 охолоджений, 16
 спалювання, 63
 та уран, 265
 утворення, 62
 як приклад «елементарності», 17
 гемоглобін, 48, 131–132, 284, 311
 Гепперт-Маєр, Марія, 27–30, 289
 германій (Ge), 9, 38, 39–40, 43–44, 310
 транзистори, 40–41, 248

Гете, Йоганн Вольфганг фон, 212–216, 220–221, 224, 322

Гітлер, Адольф, 86, 95, 124, 162, 190, 192–193, 195

Глазер, Дональд, 256–258, 264, 271, 310

Гойл, Фред, 62, 65

Голл, Чарлз, 207–210, 320

гольмій (Ho), 29, 58

гравітаційна взаємодія, 66, 328

графіт, 198, 243

грецька мова, та назви елементів, 15, 46, 87, 128, 170, 212, 228, 292, 301

гроші, 89, 102, 113, 161–162, 192, 197, 200, 206, 211, 217, 302, 311

монети, 202

паперові, 203

Г

Ганді, Магатма, 9, 176–178, 181

Гіорсо, Альберт, 106, 108–112, 117, 119, 147, 196

Д

Дарвін, Чарлз, 50–51, 92, 264

Деберайнер, Йоганн Вольфганг, 214–215, 322

Деві, медаль, 48

дейтерій, 307, 318

Демократична Республіка Конго, 88–90

Джаббур, Зейна, 274, 328

Джуэтт, Френк Фаннінг, 208

динозаври, вимирання, 36, 70–71, 73, 96, 258

диспрозій (Dy), 211–212

ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота), 134, 188, 311–312

Вотсон, Джеймс; Крік, Френсіс, 135

гадоліній, 153

літій, 223

магній, 284

Полінг, Лайнус, 131–133, 136
фолієва кислота, 161

добрива, 78, 81

Домагк, Герхард, 156, 158–162

Домагк, Хільдегарда, 158–159

Дрейк, Френк, 283–284, 330–331

Друга світова війна, 90, 108, 194, 206, 218

вольфрам, 82, 84

Домагк, 162, 315

Льюїс, Гілберт, 24

попит на метали, 87

Сегре, Еміліо, 124

Японія, 139

Дубна, Росія, 116–118, 120

дубній (Db), 117–118, 196

Е

Евері, Освальд, 312

Еддінгтон, Артур, 278–279, 328

ека-алюміній, 51–53

ека-лантан, 194

електричний опір, 16

електромагнітна взаємодія, 331

електрони, 17–18, 107, 204–205, 236, 249–252, 278, 291, 298, 328

d-оболонки, 26

амінокислоти, 33

атомні годинники, 276

гадоліній, 152–153

галогени, 19, 77

Гіорсо, Альберт, 123

квантова точка, 297–298

кислоти, 21, 23–24, 174

кислотно-основні реакції, 21

кремній, 35, 38

надпровідність, 247, 253

натрій, 25

Періодична система (таблиця), 25, 27

плазма, 244

правило октету, 144

радіоактивність, 144, 146

рентгенівські промені, 92

- роль у хімії, 188
 сірка, 160
 талій, 141
 тверді тіла, 245
- електронні оболонки, 18, 25–26, 29,
 129, 188, 204, 276, 292–293, 298,
 306, 314
- електростатична взаємодія, 289
- елементи, 6, 15, 17–18, 21, 29, 35, 39,
 45, 52, 91–92, 95, 97, 107, 112, 118,
 120, 124–125, 141, 150, 167, 214, 216,
 266, 287, 290, 302, 321
- важкі, 116
- відкриття, 125–126, 128, 309, 310
- вплив на організм, 228
- вплив титана на організм, 171
- гадоліній, 153–154
- галогени, 77, 80
- гіпотетичні, 292
- зв'язки між іонами, 19
- золото, 200–201
- ізотопи, 28
- іменування, 320
- кисень, 33
- когерентність, 248
- кристалічна структура, 243–245
- Мангеттенський проєкт, 99
- Менделєєв, 48–50, 53
- метали, 87–88, 197
- Мозлі, 93–94
- нестабільність, 110
- перехідні метали, 129
- Періодична таблиця, 7, 9, 25–27, 305
- поділ ядер, 98
- походження, 61–64, 67
- радіоактивність, 143–146, 182–185,
 187, 193–194, 261
- рідкісноземельні, 130, 189, 193
- синтез, 108–109
- Сіборг, Гленн, 109, 123
- смакові рецептори, 174
- спектроскоп, 46, 54
- та форми життя, 284
- тріади, 215, 323
- Юпітер, 65–66
- як валюта, 206–207
- енергетичні рівні, 17–19, 25–26, 33,
 40, 77, 204–205, 249
- ербій (Er)**, 58, 321
- Є**
- євгеніка, 9, 40, 123
- євро, 206
- Європейський Союз, 89, 205
- європій (Eu)**, 203–206, 321
- Ж**
- Жоліо-Кюрі, Ірен, 129, 185–186,
 190–194, 320
- Жоліо-Кюрі, Фредерік, 185, 193, 320
- З**
- залізо (Fe)**, 46, 63–64, 67, 71, 83, 87,
 200–202, 307, 313, 321
- гемоглобін, 284
- дисульфід, 199
- зоряний нуклеосинтез, 69
- звичайна (нейодована) сіль, 177
- зв'язки, 17, 19–21, 34, 38, 130–131,
 160, 182, 204, 247, 289, 316
- Земля, 16–18, 36–38, 46, 54, 56, 62,
 64–67, 71–72, 74, 98, 103, 204, 266,
 288, 299, 301, 307–308, 329–330
- виникнення життя, 285
- вік, 70, 263–265
- водневий синтез, 145
- тривалість року, 275
- утворення, 68–69
- золото (Au)**, 6–7, 54–55, 81, 86, 89,
 110–111, 116, 137, 171, 190–191,
 198–200, 207–208, 217–218, 313–314
- і телур, 201–202, 320
- зоряний синтез (нуклеосинтез), 62,
 69, 102
- зуби акули та манган, 230
- І**
- ізотопи, 28, 64, 68–69, 72, 97, 310
- Крукс, Вільям, 228
- Лоуренс, Ернест, 127

- свинець, 28, 69, 96
 уран, 279–280
- Іммервар, Клара, 79
- імунна відповідь, 155, 170–172
- індій (In), 297–298
- Індія, 71, 176–178, 181
- інертні гази, 168, 246, 269–270, 298
- Інститут Пастера, 157, 161, 315
- інтегральні схеми, 42–43, 298, 305
- інтуїтивні науки, 260
- іони, 17, 133, 155, 174, 284
 вкусові рецептори, 174
 зв'язки, 19
 канали, 141
 натрій, 19
- іридій (Ir), 70–71, 73–74, 125, 273, 302, 322, 327
- ітербій (Yb), 58, 314, 321
- ітрій (Y), 57–58, 126, 233, 249
- Іттербю, Швеція, 54, 56–58, 75, 93, 306
- Й**
- йод (I), 167, 175–178, 215, 288
- йодована сіль, 113, 177–178
- К**
- кадмій (Cd), 114, 137–143, 216
- какодили, 45
- калій (K), 140–141, 145, 174–175
- каліфорній (Cf), 106, 109, 117, 120
- Каліфорнійський університет
 у Берклі, 106, 110, 290
 Альварес, Луїс, 95
 Гепперт-Маєр, Марія, 30
 Льюїс, Гілберт, 20, 124
 Полінг, Лайнус, 124
 Сіборг, Гленн, 295
- кальцій (Ca), 19, 29, 120, 139, 317, 321
 бульбашки, 259
 смак, 174
- «кам'яні» планети, походження,
 67–68, 284
- каони, 256–257
- карборан, 22–24
- каталізатори, 78
 родій як, 164–165
- квасари, 281–282
- квантова механіка, 96, 99–100, 114, 188, 250–252, 318
 Айнштайн, Альберт, 245, 293
 Бор, Нільс, 188–189
 Гевеші, Дьєрдь, 187
 Полінг, Лайнус, 130
 фотоелектричний ефект, 292
- квантова піна, 267
- квантові точки, 297–299
- Кельвін, лорд (Вільям Томсон), 260, 263–267
- кисень (O), 17, 19, 270
 алюміній, 208
 амінокислоти, 33
 вода, 232
 гемоглобін, 48, 131
 космічні кораблі, 168–169
 люмінесценція, 269
 пронтозил, 160
 стабільне ядро, 28–29
 фотосинтез, 279
- кислоти, 15, 20–24, 132, 134, 156–157, 161, 169, 317
- Китай, 55, 203, 302, 327
- Кілбі, Джек, 42–43, 298, 305
- кілограм, 273–275, 287, 327
- Кінг, Отіс, 83–84
- кістки, 138, 170–171, 238
 кадмій, 139
 пініста структура, 259
 рентгенівські промені, 186, 237
 скам'янілі, 229
- клітини, 37, 77, 80, 103, 132, 137, 141, 152, 161, 169–171, 259, 268
- кобальт (Co), 63, 92–93, 104, 315, 321
- когерентність, 248, 250
- колаген, 171–172

колективістські стани речовини, 247

колоїди, 244, 325

Колумбія, космічний човник, 167–168, 170

комети, 36, 53, 65, 69, 71, 74, 307

комп'ютери, 39–40, 42, 100, 102–103, 116, 120, 155, 250, 298

конденсат Бозе—Айнштайна, 252–254, 298, 326

константа тонкої структури, 278–280, 293, 329–330

коперницій (Сn), 118, 309

коричневі карликові зорі, 66

Королівський монетний двір Англії, 203

Коффі, Патрік, 302

кратер півострова Юкатан, 71

кремній (Si), 34–35, 40, 43–44, 63, 304, 307, 310, 321, 329

гіпотези про життя на його основі, 36–38

напівпровідники, 39, 209, 320

та хвороба легень, 35–36

транзистори, 37, 41–42

криптон (Kr), 18, 119, 246, 269–270, 275

кристалічна структура, 243–244

Крік, Френсіс, 133–136, 232, 304, 311

Крукс, Вільям, 225–229, 231, 236–238, 296, 323

Крукс, Філіп, 226, 323

ксенон (Xe), 18, 245–246, 269–270, 321, 325

Купера, пари, 248, 253

кюрій (Сm), 109, 183

Кюрі, П'єр, 79, 182, 232, 317

Кюрі (Складовська-Кюрі), Марія, 79, 96, 109, 129, 182–185, 220

Нобелівська премія, 182, 184

Резерфорд, Ернест, 261

Л

лазери, 87, 123, 248–253, 308

євро, 206

нагрівання та охолодження, 254

лакриматори, 77, 79

лампа Деберайнера, 215

Ланжевен, Поль, 184

лантан (La), 54, 193–194, 321

лантаніди, 26–27, 54, 57, 205, 295, 298, 314

ланцюгові реакції, 97–99, 102–103, 146, 173, 279

латина, та назви елементів, 7, 31, 51, 69, 128, 184–185, 188, 292, 332

латунь, 198–199, 201, 284

Лауе, Макс фон, 190–191

леводопа (*L-dopa*), 165–167

Лекок де Буабодран, Поль Еміль, 51–53, 58, 305

Лисенко, Трохим, 113–115, 229

Литвиненко, Олександр, 144, 185–186

літій (Li), 28, 63, 147, 174, 221–222

вплив на організм, 223–224

ранній Всесвіт, 62

реактивність, 222

ложка, що зникає, 52, 306

Лондонське хімічне товариство, 48

Лос-Аламос, Нью-Мексико, 99, 101, 316

Лоуелл, Роберт, 221–222, 224–225

Лоуренс, Ернест, 112, 127–128, 318–319

лоуренсій (Lr), 112

лужні метали, 18–19

Льюїс, Гілберт, 6, 20–22, 24, 30, 124, 302, 318, 323

кислоти, 174

Нобелівська премія, 21

лютецій (Lu), 188–189, 212, 321

М

магічні ядра, 29, 290
магній (Mg), 25, 63, 116, 174, 209, 222,
284–285, 317, 321
магнітно-резонансна томографія
(МРТ), 87, 153–154
Маєр, Джозеф, 27
мазери, 249–250, 252, 276, 308
майтнерій (Mt), 118, 196
Майтнер, Ліза, 129, 191–196, 309
маккартизм, 113
Макміллан, Едвін, 107–108, 130, 136,
258
Мангеттенський проект, 27, 98–101,
103, 107, 147, 194–195, 256, 312
Айнштайн, 115
закінчення, 101
Льюїс, Гілберт, 24
Паттерсон, Клер, 68
Полінг, Лайнус, 136
Сіборг, Гленн, 108
манган (Mn), 229–231, 321, 324, 329
Марс, 37, 53, 64, 67, 70, 284, 307, 330
Мегалодон, 229–232, 237–238, 324
менделевій (Md), 111, 117, 321
Менделєєв, Дмитро, 44, 47, 49–54,
93–94, 105, 109, 111, 115, 176, 215,
305
біографія, 47–48
медаль Деві, 48
періодична таблиця, 49, 58, 92, 126,
144
Меркурій, 67, 70, 293, 307
металеві елементи, 65–67, 193, 197,
284
метеор, 66, 69, 71, 266, 301
каньйону Дьябло, 69
метод Монте-Карло, 98, 102–103, 309,
331
метрологи, 275–276
мідь (Cu), 137, 151, 154, 198, 202, 247,
313

міжнародний прототип кілограма,
273, 328
Міжнародний союз фундаментальної
та прикладної хімії (IUPAC), 117,
320
міракулін, 173–175
міфи, 7–8, 47, 58, 87, 95, 112, 189, 191,
197, 199, 211, 277
Мішер, Фрідріх, 132, 308, 311
Могой-Надь, Ласло, 216–219
Мозлі, Генрі, 92–97, 238, 308
молібден (Mo), 82–86, 127–128, 211,
314
молоко, 150, 157
монумент Вашингтона, 208–209
мюони, 256–257

Н

Нагасакі, Японія, 101, 104, 140
надважкі елементи, 7, 102, 176, 290,
292, 331
наднові (зорі), 64, 68, 71, 74, 91, 107,
269
надплинність, 16, 23, 253, 255
надпровідники, 233, 244, 247, 270
намагніченість, 153
напівпровідники, 39–43, 209, 297–
298, 320
настільний синтез, 270
натрій (Na), 9, 19, 25, 140, 173–174,
209, 249, 297, 321
Національний інститут стандартів
і технології США (NIST), 272, 274,
327
Нейман, Джон фон, 101–102, 250–251
нейтрони, 19, 28–29, 62
атомна маса, 68
експерименти з важкою водою,
190, 232
електростатична сила, 289
ізотопи, 28, 64
ланцюгові реакції, 98–99

- нейтронні гармати, 149
радіоактивний розпад, 97
радіоактивність, 97, 145, 153
ядерні бомби, 146
ядерні реакції, 100, 280
- Немезида (астр.), 72–73
- неодим (Nd), 87, 212, 249–250, 280, 321
- неон (Ne), 18, 66, 246
- Нептун, 213, 293
- нептуній (Np), 64, 107–108, 130, 321
- Нернст, Вальтер, 20, 302
- нікель (Ni), 92–93, 114, 307, 313, 321
- Німеччина, 20, 27, 33, 81–82, 84, 86, 117, 119, 130, 134, 158, 162, 181, 186, 190–191, 194, 332
атомна бомба, 195
Великі Берти, гармати, 82–83
вибухові речовини, 78
вольфрам, 85
газова зброя, 192
досліди Рентгена, 236
розщеплення атома, 96
та Франція, 79–80
- Нінов, Віктор, 119–120
- ніобій (Nb), 88–89, 126, 321
- нітроген (N), 9, 34, 321
амінокислоти, 33–34
Габер, Фріц, 77–79
космічні апарати, 168–170
Лос-Аламос, 317
люмінесценція, 269
пронтозил, 160
смакові рецептори, 173
- Нобелівська премія, 9
американські вчені, 124
Айнштайн, Альберт, 292
Бардін, Джон, 248
Бор, Нільс, 188
Брегг, Вільям, 134
Габер, Фріц, 81
Ган, Девід, 190–196
Гевеші, Дьєрдь, 189–190
Гепперт-Маєр, Марія 27–28, 30, 289
- Глазер, Дональд, 258
Домагк, Герхард, 162
Жоліо-Кюрі, Ірен, 185
Кілбі, Джек, 43, 305
Корнелл, Ерік; Віман, Карл, 255, 326
- Кюрі, Марія і П'єр, 182–183
Ланжевен, Поль, 184
Ленгмюр, Ірвінг, 323
Льюїс, Гілберт, 21, 124, 318
Майтнер, Ліза, 190–195
Макміллан, Едвін, 130
надпровідність, 41, 233, 248
Ноулз, Вільям, 165
Полінг, Лайнус, 136
Резерфорд, Ернест, 263–264
Рентген, Вільгельм, 238
Сегре, Еміліо, 136, 312
Сіборг, Гленн, 107
Таунс, Чарлз, 252
Фаянс, Казімеж, 191, 319
Фермі, Енріко, 128, 282
Шоклі, Вільям, 304, 310
ядерний поділ, 194
- нобелій (No), 112, 321
- Нобель, Альфред, 112
- Ноддак, Вальтер, 126–127
- Ноддак, Іда, 126–129, 310
- Норильськ, 114, 309
- Ноулз, Вільям, 164–166, 317
- нуклеїнові кислоти, 132–135
- Ньютон, Ісаак, 22, 43, 203, 282
- О**
- Огава, Масатака, 126
- Окло, Африка, 279–281
- олігодинамічні ефекти, 151
- олово (Sn), 38, 83, 89–90, 170, 198, 202, 242–244, 321, 325
- олов'яна чума, 243–244, 324
- орбіталі, 152, 292, 296, 298
- органічні молекули, 158, 267, 284
- осмій (Os), 78, 125, 218, 302, 307, 321

основи, 20–21
 острів стабільності, 287, 290–292, 294
 отрути, 8, 22, 301
 азотні сполуки, 173
 арсен як, 46
 берилій як, 282, 317
 кадмій як, 137, 140
 на основі брому, 77, 79
 нікель як, 114, 310
 полоній як, 140, 144, 185
 радіація, 140, 144, 147
 ртуть як, 7–8, 313–314
 свинець як, 140, 198
 талій як, 7, 140–141, 228, 312
 офіційний кілограм, 273

П

паладій (Pd), 232–235, 321, 324
 Паркер, Кеннет, 217–219
 пастеризація, 157
 Пастер, Луї, 156–159, 162–163, 166, 315
 патологічна наука, 225, 233, 235–236, 270, 323–324
 Крукс, Вільям, 228
 мегалодон, 231
 пояснення терміну, 228–229
 Рентген, Вільгельм, 237–238
 холодний термоядерний синтез, 232
 Паттерсон, Клер, 68–70
 пеніцилін, 125
 перехідні метали, 24–26, 129, 188–189, 197, 294–295
 Пер'є, Карло, 127–128
 періодична система, 44–45, 74, 82, 91, 94–95, 98, 117–118, 120, 182–183, 287–289, 294, 298, 305, 309–310, 318, 320, 332
 Гіорсо, Альберт, 110
 Деберайнер, Йоганн Вольфганг, 214
 Менделєєв, Дмитро, 47
 отруювачі, 137–149

Полінг, Лайнус; Сегре, Еміліо, 124
 Резерфорд, Ернест; Содді, Фредерік, 262
 Рентген, Вільгельм, 241
 періодичний закон, 47–48
 період напіврозпаду, 142–143, 331
 Перша світова війна, 185
 Великі Берти, гармати, 84
 Габер, Фріц, 78, 81
 Льюїс, Гілберт, 24
 Мозлі, Генрі, 94
 попит на метали, 137
 хімічна зброя, 76, 82, 192, 308
 пиво, 202, 256–258, 260, 271
 підробка, 52, 148, 197, 202, 205–206, 270
 піна, 64, 258–260, 266–267, 325, 327
 піони, 256–257
 пірит, 199–201
 плазма, 244, 247, 325
 планети, походження, 64–69, 74
 Планка, стала, 251–252, 330
платина (Pt), 207, 215–216, 246, 273, 275, 277, 321, 323, 327
 Платон, 15–18, 26, 29
 Плутон, 213
плутоній (Pu), 64, 95, 99, 102, 104, 108–110, 176, 207, 321
 Мангеттенський проєкт, 99–100
 пневмоніт, 173
 подвійні зв'язки, 38, 316
 позитрони, 135, 296
 Полінг, Лайнус, 131–137, 258, 302, 304, 310–311
 Нобелівська премія, 136
 Сегре, Еміліо, 124–125, 130
 Полінг, Пітер, 133
полоній (Po), 140, 144, 184–186, 221, 264
 польовий шпат, 55–56
 Польща, 55, 85, 181–186, 194

Понс, Б. Стенлі, 232–235, 237
 Португалія, 85–87
 порцеляна, 43, 54–57
 правило октету, 33, 144, 159, 298
празеодим (Pr), 211, 249, 321
 принцип Коперника, 274
 принцип невизначеності, 250–252,
 255, 283, 325–326
 припій, 89, 138, 242, 244, 324–325
прометій (Pm), 95, 98, 104, 211,
 306–307
 пронтозил, 158–161, 165
протактиній (Pa), 94, 146, 176,
 191–192, 228, 319
 протезування, 151, 170
 протони, 17, 19, 23, 29, 62–64, 92–98,
 109–110, 143, 146, 232–233, 252, 256,
 264, 289–290, 293, 307, 312, 325, 328,
 331
 атомна маса, 68
 атомне число, 28
 кислоти, 21
 кластери, 297
 магічні ядра, 29
 Путтерман, Сет, 268–270, 326

Р

Радіаційна лабораторія в Берклі, 137,
 141, *див. також* Каліфорнійський
 університет у Берклі
радій (Ra), 185–187, 220–221, 264,
 291, 317–318, 329
 радіоактивність, 97, 108, 110, 127, 146,
 148, 183, 186–187, 220, 228, 291, 315,
 318, 329
 бісмут, 142–143
 вік Землі, 288
 гамма-промені, 103
 елементи, 68
 лічильник Гейгера, 147
 Кюрі, Марія, 96
 Кюрі, Марія та П'єр, 182, 184
 Макміллан, Едвін, 130

Менделєєв, Дмитро, 49
 Мозлі, Генрі, 93
 наднові зорі, 68
 поділ ядра, 128, 145
 полоній, 144, 185
 Резерфорд, Ернест, 96, 261–262,
 265
 Сегре, Еміліо; Полінг, Лайнус, 124
 Сіборг, Гленн; Гіорсо, Альберт, 109
 та ДНК, 132
 Фермі, Енріко, 173
радон (Rn), 18, 48, 144, 262–264
 рак, 103, 144
 гадоліній, 152–153, 314
 золото, 315
 полоній, 185
 ревігатор, 185
 Резерфорд, Ернест, 91–93, 96–97, 186,
 261–265, 309, 317
резерфордій (Rf), 118, 265, 291
реній (Re), 72–74, 126, 307, 321
 Рентген, Берта, 237–238
 Рентген, Вільгельм, 118, 236–237, 241
 рентгенівська кристалографія, 134
 рентгенівські промені, 92, 96,
 103–104, 182, 186, 237–238
 рентгеній, 118, 238
 рівняння Дрейка, 283–284, 330
 рідкісноземельні елементи, 68, 75, 93,
 129–130, 153, 188–189
 РНК (рибонуклеїнові кислоти), 268
родій (Rh), 164–165, 167, 207, 321
ртуть (Hg), 6–7, 16, 49, 125, 247, 301,
 321
 рідина, 15, 293
 термометр, 5–6
 як отрута, 8, 313–314
 яловича печінка, 272
 Руанда, 88–89
рубідій (Rb), 253–255, 328
рутений (Ru), 112, 218, 321–322

С

- Сакс, Олівер, 165–166, 306, 324
Салазар, Антоніо, 85–87
самарій (Sm), 112, 115, 280, 321
свинець (Pb), 38, 68, 119, 140, 142, 186, 198, 262, 266
ізотопи, 28, 69, 96–97
Резерфорд, Ернест, 261
- світло,
винна кислота, 156
випромінювання, 204–205, 306
досліди Бренемарка, 170
кольори, 213, 250
коричневе, 66, 307
лазери, 249, 255
неонове, 66, 263
природа, 251
сонячне, 223
спектроскоп, 46
ультрафіолетове, 246
фіолетове, 204
флуоресценція, 320
фотони, 276, 325
хіральність, 157
швидкість, 281, 293–294, 329–330
як хвилі, 248, 252
- Сегре, Еміліо, 94, 123, 127, 129, 252, 258, 288, 310
антипротон, 135
антипротони, 296
Нобелівська премія, 258, 312
рідкісноземельні елементи, 130
та Полінг, Лайнус, 124–125
та Лоуренс, Ернест, 127–128
- селен 215, 225–228, 321
селен (Se), 215, 225, 227–228, 322
сенсорні рецептори, смак, 172–174, 317
серпоподібноклітинна анемія, 131, 311
сидерофіли, 70, 307
сильна ядерна взаємодія, 289, 331
синтез, 63, 145, 291
зоряний, 62, 69, 102, 306–307
настільний, 270
у водні, 104
холодний термоядерний, 232–235
- синьозелені водорості, 279, 284
- Сіборг, Гленн, 106–108, 117, 196, 206–207
відкриття нових елементів, 109, 116, 309
перехідні метали, 295
сіборгій, 118
та Гюрсо, 108
та Сегре, 123, 130
- сіборгій (Sg)**, 118
- Сілارد, Лео, 97, 103, 104
- сіль, 19, 125, 176–178, 197, 222
- сірка (S)**, 125, 132, 139, 160, 215, 311
сірчана кислота, 21, 70, 174
- скандій (Sc)**, 87, 321
- Скеррі, Ерік, 52, 74, 300, 305–306, 318
- Скотт, Роберт Фолкон, 241–245, 324
- слабка ядерна взаємодія, 331
- смаки, 21, 172–175, 317
- солодкість, 317
та берилій, 173
та міракулін, 174–175
- соляна кислота, 21, 23, 174, 190
- сонар, 270
- сонолюмінесценція, 268, 270, 327
- Сонце, 61, 63–64, 71–74, 204, 269, 275, 277, 293, 308, 329
- Сонячна система, походження, 64, 66–67, 73, 91
- сонячні системи, 68, 72
- Спарта, 76–77, 202
- спектроскопи, 46–47, 51, 54, 93, 204
- спін та електрони, 152–153, 276, 298
- спіритизм, 226–227, 229, 296
- срібло (Ag)**, 137, 151, 154–155, 202, 207, 216, 301, 314, 321
- Сталін, Йосип, 113–116
- стани речовини, 80, 244–247, 252–256, 297

стибій (Sb), 22–23, 302, 321–322

стільникові телефони, 88

стронцій (Sr), 209, 214–215

субатомні частинки, 96, 185

сульфаніламідні препарати, 161–162

суператоми, 296, 298

Т

талідомід, 164, 316–317

талій (Tl), 7, 140–141, 144, 225, 228, 312–313, 321

тантал (Ta), 88–89

Таунс, Чарлз, 250, 252, 310

тахіони, 294

Твен, Марк, 219–221

телур (Te), 172, 175–176, 201–202, 215, 320

температура, 114, 145, 254, 257, 270

винна кислота, 157

водень, 258

гази, 246, 269

галій, 51

зорі, 62–63, 233

калаверит, 201

кремній, 37

надпровідність, 233, 247–248

олово, 243

порцеляна, 55–56

ртуть, 16, 293

солі магнію, 285

тверді тіла, 82, 245

торій, 146

транзистори, 41

теорія надпровідності BCS, 248, 253

тербій (Tb), 58, 321

термодинаміка, та вік Землі, 263

технецій (Tc), 62, 94, 128–129

титан (Ti), 170–172, 266, 329

Томпсон, Дарсі Вентворт, 267

тонка структура та електрони, 276, 278–279, 329

торій (Th), 116, 146–147, 185, 211, 264, 318, 321, 331

транзистори, 40, 42–43, 123, 310

германій, 40–41, 248

кремній, 37, 42, 320

трансуранові елементи, 107, 128–130, 193–195, 282

трубки Крукса, 236–237

тулій (Tm), 26–27, 58, 321

У

Улам, Станіслав, 101–102

уран (U), 28, 63–64, 67, 95, 99, 102, 146–147, 173, 183, 264, 266, 279, 321–322

атомна бомба, 95, 99–100, 140

бомбардування нейтронами, 128
вік Землі, 68–69

Кюрі, Марія та П'єр, 182

перехідні метали, 129

поділ, 96, 98, 115, 145–146, 194, 280
та гелій, 265

трансуранові елементи, 193

уранова смолка, 183

Урбен, Жорж, 93–94, 308

Ф

Фаянс, Казімеж, 191, 195

Фейнман, Річард, 278, 293

Фермі, Енріко, 128, 130, 173, 193–194, 282–283, 285, 330

фермій (Fm), 110, 282

Фермі, парадокс, 283, 285

фізики проти хіміків, 187–188

Флейшман, Мартін, 232–235, 237

флуоресценція, 205, 320

Фльоров, Георгій, 115–116, 120

форма подвійної спіралі, 134–135, 311

форма потрійної спіралі, 133–135

фосфор (P), 132–135, 311

фотоелектричний ефект, 292

фотони, 248–249, 251–254, 276, 281, 325

фотосинтез, 279, 284

Франк, Джеймс, 190

францій (Fr), 124, 287–291, 322, 331

Франція, 51, 85–86, 112

пронтозил, 161

радіоактивні речовини, 142

та Німеччина, 77, 79

Фріш, Отто, 194

фтор (F), 113, 246–247, 320–321

фундаментальні константи, 277–283, 329

Х

харчові добавки, 136, 154, 314

хвороба ітай-ітай, 137, 139–140

хімічна зброя,

Гаазька конвенція 1899 р., 76

Габер, Фріц, 79–81

Німеччина, 79

Перша світова війна, 76, 82, 192, 308

Франція, 79

хімічні тріади, 44, 215, 322

хіральність, 156–157, 162–165, 315

Хіросіма, 100, 104

хлор (Cl), 80, 86, 215

хмарні камери, 257

холод, 16, 157, 241–243, 254–255, 257, 263, 270, 298, 324

надпровідність, 248

Роберт Фолкон Скотт, 241–245

стан речовини, 244, 247, 253

термоядерний синтез, 233–235

холодний синтез, 233–235, 238, 270, 324

хром (Cr), 222, 282, 321

Ц

цезій (Cs), 246, 276–277, 321, 328–329

церій (Ce), 54, 58, 206, 211, 321

Циклон А і В, 81, 160, 315

циклотрони, 127–129

цинк (Zn), 138–139, 154, 171, 198–199, 202, 313, 321

циркадний ритм, 223–224

циркони та вік Землі, 266

цирконій (Zr), 188–189, 266, 321

цукри, 38, 132–133, 172, 175, 284, 315

Ч

частинки, 152, 173, 251, 254, 256–258, 289, 312, 314

альфа-, 109–111, 116, 119, 149, 262–264, 288

антипротон, 135

бета-, 262, 288

експерименти Ірен Жоліо-Кюрі, 185

електрони, 17, 19

квантова механіка, 96, 100, 187

принцип невизначеності, 252, 325

природа світла, 248, 251–253

прискорювачі, 169, 316

смакові рецептори, 174

стани речовини, 246–247

тахіони, 294

Чемберлен, Овен, 135, 312

Черчилль, Вінстон, 86, 162

Чиказький університет, 28, 173

Чірінгаус, Еренфрід Вальтер фон, 55–56

чорні діри, 269, 281, 289, 293

чужорідне життя, 171, 285

Ш

шахти Каміюки, Японія, 137–140

Шведська академія наук, 30, 42, 130, 184, 191–192, 195

Швейцарія, 86, 177

Швеція, 41–42, 54, 56–57, 75, 112, 193–194, 248

Шекспір, Вільям, 31, 62, 212, 221, 302, 307

Шляхтер, Олександр, 279–281
 Шоклі, Вільям, 40, 123, 258, 304, 310
 евгеніка, 40
 кремнієвий підсилювач, 39
 Нобелівська премія, 41
 транзистори, 40, 311
 Шотт, Макс, 83–84
 Шріффер, Роберт, 248, 325
 Шумейкерів—Леві 9, комета, 65, 74

Щ

щитоподібна залоза, 178, 289

Ю

Юпітер, 64–67, 73–74, 156, 307, 330

Я

ядерні реактори, 144–148, 279, 280
 ядро, 19, 27, 92, 96, 246, 257, 279,
 289–290
 атомне, 93
 Гепперт-Маер, Марія, 28–29
 Землі, 71
 зорі, 62–63
 ізотопи, 97
 кластери, 297
 модель, 310
 надрівідники, 247
 поділ, 98, 128–130, 194–195, 310
 радіоактивність, 182
 розпад, 96
 францій, 291
 Юпітера, 65–66
 ядерні бомби, 103, 115–116
 Янг, Фрем Фредерік, 141, 144
 Японія, 83, 85, 137–138, 140, 143

A

Alcoa, Алюмінієва компанія Америки,
 209, 300, 320
American Metal, 84

B

B²FH, 62–65, 74, 307
Bureau International des Poids et Mesures
 (BIPM), 273

D

d-оболонки, 25–26, 306

F

f-оболонки, 26, 129, 188, 306

I

I. G. Farbenindustrie (IGF), 160–161,
 315

M

Metallgesellschaft, 83–84

N

NASA, 65, 167–170, 259, 317

P

Parker 51, ручки, 217–219, 322
p-оболонки, 25

S

s-оболонки, 25

T

Texas Instruments (TI), 42
The New Yorker, щотижневик,
 106–108, 118, 309
The New York Times, газета, 95, 160,
 312, 324
Time, журнал, 95, 309–310
 Люди 1960 року, 123, 252, 258
 Нобелівський комітет, 195
 Полінг, Лайнус, 130

Про автора

Сем Кін — письменник із Вашингтона, округ Колумбія. Його роботи публікували журнали *The New York Times*, *Mental Floss*, *Slate*, *Air & Space/Smithsonian* та *New Scientist*. 2009 року він став віцепрезидентом Національної асоціації наукових письменників як найкращий письменник-науковець віком до тридцяти років. У 2009–2010 роках Сем Кін був стипендіатом екологічної журналістики в Мідлбері, Вермонт. Зараз він пише для журналу *Science*.

Періодична система хімічних елементів

¹ H 1.008																	² He 4.003
³ Li 6.941	⁴ Be 9.012											⁵ B 10.812	⁶ C 12.011	⁷ N 14.007	⁸ O 15.999	⁹ F 18.998	¹⁰ Ne 20.180
¹¹ Na 22.990	¹² Mg 24.305											¹³ Al 26.982	¹⁴ Si 28.086	¹⁵ P 30.974	¹⁶ S 32.066	¹⁷ Cl 35.453	¹⁸ Ar 39.948
¹⁹ K 39.098	²⁰ Ca 40.078	²¹ Sc 44.956	²² Ti 47.861	²³ V 50.941	²⁴ Cr 51.996	²⁵ Mn 54.938	²⁶ Fe 55.845	²⁷ Co 58.993	²⁸ Ni 58.693	²⁹ Cu 63.546	³⁰ Zn 65.384	³¹ Ga 69.723	³² Ge 72.641	³³ As 74.922	³⁴ Se 78.963	³⁵ Br 79.904	³⁶ Kr 83.798
³⁷ Rb 85.468	³⁸ Sr 87.621	³⁹ Y 88.906	⁴⁰ Zr 91.224	⁴¹ Nb 92.906	⁴² Mo 95.942	⁴³ Tc 98.906	⁴⁴ Ru 101.072	⁴⁵ Rh 102.905	⁴⁶ Pd 106.421	⁴⁷ Ag 107.868	⁴⁸ Cd 112.412	⁴⁹ In 114.818	⁵⁰ Sn 118.711	⁵¹ Sb 121.760	⁵² Te 127.603	⁵³ I 126.904	⁵⁴ Xe 131.294
⁵⁵ Cs 132.905	⁵⁶ Ba 137.327	57-71	⁷² Hf 178.492	⁷³ Ta 180.948	⁷⁴ W 183.841	⁷⁵ Re 186.207	⁷⁶ Os 190.233	⁷⁷ Ir 192.217	⁷⁸ Pt 195.085	⁷⁹ Au 196.967	⁸⁰ Hg 200.592	⁸¹ Tl 204.383	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.980	⁸⁴ Po 209	⁸⁵ At 210	⁸⁶ Rn 222
⁸⁷ Fr 223	⁸⁸ Ra 226	89-103	¹⁰⁴ Rf (267)	¹⁰⁵ Db (268)	¹⁰⁶ Sg (271)	¹⁰⁷ Bh (270)	¹⁰⁸ Hs (277)	¹⁰⁹ Mt (276)	¹¹⁰ Ds (281)	¹¹¹ Rg (280)	¹¹² Cn (285)	¹¹³ Uut (284)	¹¹⁴ Uuq (289)	¹¹⁵ Uup (288)	¹¹⁶ Uuh (293)	¹¹⁷ Uus (294)	¹¹⁸ Uuo (294)

⁵⁷ La 138.905	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.908	⁶⁰ Nd 144.242	⁶¹ Pm 145.0	⁶² Sm 150.362	⁶³ Eu 151.964	⁶⁴ Gd 157.253	⁶⁵ Tb 158.925	⁶⁶ Dy 162.500	⁶⁷ Ho 164.930	⁶⁸ Er 167.259	⁶⁹ Tm 168.934	⁷⁰ Yb 173.043	⁷¹ Lu 174.967
⁸⁹ Ac 227	⁹⁰ Th 232.038	⁹¹ Pa 231.036	⁹² U 238.029	⁹³ Np (237)	⁹⁴ Pu (244)	⁹⁵ Am (243)	⁹⁶ Cm (247)	⁹⁷ Bk (247)	⁹⁸ Cf (251)	⁹⁹ Es (252)	¹⁰⁰ Fm (257)	¹⁰¹ Md (258)	¹⁰² No (259)	¹⁰³ Lr (262)

Переклад з англійської
ЕРНЕСТА РАБІНОВИЧА

ВИДАВНИЧИЙ ДІМ



Науково-популярне видання

Сем Кін

ЛОЖКА, ЩО ЗНИКАЄ:

**правдиві розповіді з періодичної системи хімічних елементів
про безумство, кохання та історію світу**

Sam Kean

THE DISAPPEARING SPOON

**And Other True Tales of Madness, Love, and the History of the World
from the Periodic Table of the Elements**

Дизайн обкладинки *І. І. Нестеренко*

Головний редактор *А. А. Клімов*

Редакторка *Т. О. Попова*

Технічна редакторка *Т. Г. Орел*

Коректорка *Н. В. Красна*

ФБ1338003У. Підписано до друку 15.03.2023.

Формат 70 × 100/16. Папір офсетний.

Гарнітура Minion. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 28,38.

ТОВ Видавничий дім «Фабула»

Свідоцтво ДК № 7005 від 12.12.2019.

вул. Котельниківська, 5, м. Харків, 61071

Для листів: вул. Космічна, 21а, м. Харків, 61145.

Надруковано у ПП «Юнісофт»

UNISOFT

61036, м.Харків, вул. Морозова, 136.

www.unisoft.ua

Свідоцтво ДК № 5747 від 06.11.2017 р.

Наклад 1100 прим. Замовлення 4/03.

З питань реалізації звертайтеся: client@fabulabook.com.

**Замовити книжку
або залишити відгук**



**Інтернет-книгарня
видавництва «ФАБУЛА»**

