

ВСТУП

Ми живемо на самому краєчку Землі, на межі з рештою всесвіту. Югожой ночі кожен охочий може вийти надвір і захоплюватися безліччю мерехтливих зірок — отих звичних і сталих, унікальних для нашого космічного закутка орієнтирів. Усі людські цивілізації бачили зорі, але жодна їх не торкалася. Наш дім, Земля, — протилежність зір: невпорядкований, мінливий, перенасичений новизною та речами, яких ми щодня торкаємось і змінюємо. Але якщо нам хочеться знати, як влаштований всесвіт, то відповідь на це запитання потрібно шукати саме на Землі. Фізичний світ сповнений приголомшливого розмаїття, а в його основі лежать єдині принципи й поєднані в різні способи одні й ті ж атоми, які й дають нам настільки багату різноманітність. І вона не випадкова. Наш світ справді аж рясніє багатоманітними візерунками.

Якщо налити молока до чаю, а тоді швидко все розмішати, то можна побачити водоверті — спіралі двох рідин, які кружляють, але майже не торкаються одна одної. У горнятку дві спіралі кружлятимуть кілька секунд, і тільки тоді обидві рідини повністю змішаються. Але цього вистачає, щоб помітити й зрозуміти, що рідини змішуються не миттєво, а перебувають якийсь час у візерунчатих завихреннях. Щось схоже можна побачити в інших місцях і з тієї самої причини. Якщо поглянути на Землю з космосу, часто дуже схожі завихрення можна побачити в хмарах, а зумовлюється це явище тим, що тепле повітря, танцюючи навколо холодного, змішується з ним не одразу. До Британії вихори мігрують із західної Атлантики і зумовлюють нашу горезвісну мінливу погоду. Вихори утворюються на межі холодного повітря на півночі та теплого повітря на півдні. Прохолодні та теплі маси повітря ходять одні за одними, а їхні візерунки добре помітні на знімках із супутників. Круговерті називаються тропічними депресіями або циклонами, і ми стаємо свідками швидких змін вітряної, дощової та сонячної погоди, коли повз нас проносяться рамена їхньої спіралі.

Може здатися, що вирування бурі має мало спільного з помішуванням чаю, але схожість їхніх моделей поведінки — не простий збіг. Це ключ до розгадки чогось значно фундаментальнішого. За обома явищами ховається системна основа виникнення цих форм — відкритих, досліджених і підтверджених у різних дослідіах та експериментах, проведених багатьма поколіннями людей. Наука — безупинний процес відкриттів, постійне вдосконалення, підтвердження нашого розуміння, а разом — докопування до чергового відкриття, яке треба збагнути.

Інколи той самий візерунок легко помітити в інших місцях. Проте часом зв'язок має глибинний характер, і коли нарешті ми його виявляємо, то отримуємо навіть більше задоволення. Наприклад, не обов'язково думати, що велосипедисти мають щось спільне зі скорпіонами. Але і ті, і ті використовують ту саму, хоч і протилежну, наукову хитрість для виживання.

Безмісячна ніч у північноамериканській пустелі холодна і тиха. Знайти там щось майже неможливо, оскільки земля освічується тільки слабким світлом зір. Але, щоб знайти один конкретний скарб, ви берете спеціальний освітлювальний прилад і вирушаєте в темряву. І цей освітлювальний прилад має випромінювати світло, невидиме для нашого виду істот: ультрафіолетове або ж «чорне світло». Коли промінь «чорного світла» блукає поверхню землі, то навіть точно не скажеш, куди він спрямований, бо невидимий. Аж тут бачимо спалах — і темрява пустелі раптом зблискує моторошною, яскравою, блакитно-зеленою плямкою, що біжить. Скорпіон.

Ось так ентузіасти й знаходять скорпіонів. Зовнішні скелети чорних павукоподібних містять пігмент, який убирає ультрафіолетове світло і якого ми не бачимо, а відбиває світло, що можна розгледіти. Справді прегарно, але якщо ви боїтеся скорпіонів, то ваш захват буде дещо приглушений. Скорпіонова хитрість називається флуоресценцією. Блакитно-зелене світіння вважається пристосуванням до навколишніх умов, і воно допомагає скорпіонам віднайти найліпшу схованку в сутінках. Ультрафіолетове проміння

є всюди і повсякчас, але в темряві, коли сонце заходить за обрій, більшість видимого світла зникає — залишається тільки ультрафіолетове. Отже, якщо скорпіон перебуває десь на відкритій місцині, він світиться і його легко помітити, бо навколо дуже мало іншого блакитного чи зеленого світла. Коли скорпіон хоча б тільки трішки видимий, то виявляє своє світіння і вже знає, що йому потрібно ще ліпше сховатися. Дуже витончена й дієва сигналізаційна система або принаймні такою залишається, допоки не з'являються люди з ультрафіолетовими ліхтариками.

На щастя, для тих, хто потерпає від арахнофобії, не потрібно ходити нічною пустелею, де мешкають скорпіони, щоб зрозуміти, що таке флуоресценція, часто вистачить нудного світланку в місті. Погляньмо тепер не велосипедистів, які переймаються своєю безпекою: їхні добре видимі жилети мають незвично яскраве, порівняно з оточенням, забарвлення. Здається, ніби вони світяться, і насправді так і є. У похмурі дні хмари затуляють видиме світло, але багато ультрафіолетового світла все ж таки крізь них пробивається. Жилети просочені пігментом підвищеної видимості; пігмент убирає ультрафіолетове й відбиває видиме світло. Та сама хитрість, до якої вдаються скорпіони, але застосована з іншою метою. Велосипедисти хочуть світіння; якщо від них виходить більше світла, то вони стають помітнішими, а це сприяє їхній безпеці. Флуоресценцію люди отримали, немов дармовий обід; ми не бачимо ультрафіолетового світла, тому нічого не втрачаємо, коли воно перетворюється на щось корисне для людей.

Просто дивовижно, що така крихта фізики взагалі існує, але найбільше тішуся тим, що вона — не лишень цікава сама по собі, але є справжнім знаряддям, яке щодня можна носити із собою. Флуоресценція може багатьом стати в пригоді. У нашому випадку те саме фізичне явище допомагає виживати і скорпіонам, і велосипедистам. Під дією ультрафіолетового проміння світиться тонізуюча вода через наявний у ній флуоресцентний хінін. У такий самий спосіб творять свої дива освітлювачі білизни та всілякі фломастери й маркери. Наступного разу, коли побачите виділений маркером

абзац, пам'ятайте, що чорнило маркера також діє як детектор ультрафіолету; навіть якщо ви не бачите ультрафіолетового світла, завдяки світінню одразу можете сказати, що воно там є.

Особисто я вивчала фізику тому, що вона пояснювала цікаві для мене речі. Фізика дозволила уважно до всього придивлятися і бачити механізми, завдяки яким функціонує наш щоденний світ. Але найбільше тішуся тим, що за її допомогою деякі з механізмів я зуміла розробити власноруч, без сторонньої допомоги. Навіть попри свій диплом фахівця в галузі фізики, для багатьох розроблених мною речей не знадобилося якихось лабораторних досліджень, складного комп'ютерного програмного забезпечення чи дорогих дослідів. Найбільше задоволення отримувала від відкриттів, пов'язаних з випадковими речами, із якими я просто бавилася, коли взагалі не мала б займатися науковою роботою. Знання основ фізики перетворює світ на чарівну скриньку з іграшками.

Іноді люди ставляться дещо зневажливо до наукових знань, пов'язаних з кухнею, городом чи міською вулицею. Вважають це дитячою забавкою, тривіальною розвагою юних, але малокорисною для дорослих. Адже доросла людина може купити собі книжку про влаштування всесвіту, а це вже тема, гідна дорослих. Такий підхід не враховує дуже важливого факту: та сама фізика застосовується всюди. З принципу дії звичайного тостера можна дізнатися про найважливіші закони фізики, а перевага його в тому, що, маючи цей кухонний прилад удома, і самі можете побачити, як він працює. Фізика вселяє благоговійний страх хоча б через те, що її принципи універсальні: вони діють і на кухні, і в найвіддаленіших куточках всесвіту. Перевага від розгляду тостера передовсім полягає в тому, що навіть, якщо ви ніколи не переймалися питанням температури всесвіту, то принаймні побачите, чому він нагрівається. І кожен, хто ознайомлений із принципом, упізнаватиме його в багатьох інших речах, а останні будуть найвизначнішими досягненнями людського суспільства. Розуміння науки в побуті — це пряма дорога до здобуття знань про світ, яких потребує кожен громадянин суспільства для того, щоб брати активну участь у ньому ж.

Чи доводилося вам колись відрізнити сире яйце від вареного, не очищуючи від шкаралупи? А це досить легко зробити. Покладіть яйце на гладку тверду поверхню й розкрутіть навколо своєї поперечної осі. Кілька секунд потому на мит-ь торкніться пальцем шкаралупи яйця так, щоб зупинити обертання. Яйце після доторкання може замерти. Але за секунду чи дві воно знову може почати повільно обертатися. Сире й варене яйця мають зовні однаковий вигляд, але всередині вони різні, і це їх видає. Коли ви зупините варене яйце, то зупиняєте весь предмет. А коли зупиняєте сире яйце, то зупиняєте тільки шкаралупу. Рідина всередині так і не перестає вирувати, тому за секунду чи дві яйце знову починає обертатися, бо його шкаралупу намагається обертати рідина всередині. Якщо не вірите, то візьміть яйце та переконайтеся в сказаному на власному досвіді. Один із принципів фізики полягає в тому, що предмети схильні продовжувати той самий вид руху, допоки їх не підштовхують або не притягують. У такому випадку загальний обертовий момент білка в яйці залишається сталим, бо немає причини для його зміни. Це називається збереженням моменту імпульсу руху. І цей принцип діє не тільки в яйцях.

Космічний телескоп «Габбл» — око, що рухається орбітою навколо нашої планети з 1990 року і зробило багато тисяч вражаючих зображень космосу. Від нього ми отримали зображення Марса, кілець Урана, найстарших зір Чумацького Шляху, галактики під чудовою назвою Сомбреро, а також велетенської туманності Краба. Але коли телескоп отак вільно плаває в космосі, то як йому вдається перебувати в одному положенні й розглядати такі крихітні цятки світла? Звідки він знає, куди обернений? Телескоп «Габбл» має шість гіроскопів, кожен з яких — це колесо, що обертається зі швидкістю 19 200 обертів за секунду. Збереження моменту імпульсу руху означає, що ті колеса продовжуватимуть обертатися з такою швидкістю, бо їх ніщо не сповільнює. А вісь обертання залишатиметься спрямованою виключно в одному напрямку, бо причини для зміни її спрямування нема. Гіроскопи надають

телескопові опорний напрямок, і його оптика може залишатися націленою на віддалений об'єкт так довго, скільки потрібно. Цей принцип фізики, який застосовується для спрямування одного з чудес техніки, виробленого нашою цивілізацією, можна продемонструвати в кухні за допомогою яйця.

Ось чому я люблю фізику. Отримані знання рано чи пізно все ж таки знайдуть своє застосування, але то — велика пригода, бо ніколи не вгадаєш, до якого відкриття з ними прийдеш буквально вже наступного разу. Наскільки нам відомо, закони фізики, які ми спостерігаємо на Землі, діють у цілому всесвіті. Багато колішат і гвинтиків нашого всесвіту є загальнодоступними. Ви можете самостійно перевірити їхню дію. З того, що довідуємося про яйце, вилуплюється принцип повсюдної дії. Коли виходиш із дому з отаким щойно вилупленим пташеням, то світ набуває цілком іншого вигляду.

У давнину інформація цінувалася більше, ніж нині. Кожен її самородок був важко зароблений і вважався дуже коштовним. Нині ми живемо на березі океану знань, з якого раз за разом здіймається цунамі загрожує нашій розсудливості. Якщо нам вдалося дожити дотепер, то навіщо шукати ще більше знань, а значить, і більше ускладнень? Космічний телескоп «Габбл» — дуже навіть гарна річ, але якщо час від часу він не зиркне донизу, щоб допомогти знайти ваші ключі, коли ви квапитеся на зустріч, то яке це має значення?

Людей цікавить світ, і ми отримуємо багато радості, задовольняючи свою цікавість. Цей процес навіть ще приємніший, якщо ми дізнаємося про щось самостійно або якщо доходимо до розуміння чогось разом, мандруючи до відкриття з кимось. Фізичні принципи, про які дізнаємося за посередництва гри, також застосовуються в нових медичних технологіях, метеорології, стільникових телефонах, самоочисному одязі та термоядерних реакторах. Сучасне життя вимагає ухвалення складних рішень: а чи варто платити більше за лампочки денного світла? А чи безпечно спати з телефоном біля голови? Чи варто мені покладатися

на прогноз погоди? Яка буде різниця, якщо мої сонячні окуляри матимуть поляризаційні фільтри? Деякі основні принципи часто не дають конкретних відповідей, але вони дають контекст, потрібний для постановки правильних запитань. А якщо ми навчимося самостійно доходити до розв'язки завдань, то не почуватимемося безпорадними, коли за першої спроби не отримаємо чіткої відповіді. Ми знатимемо, що, трохи подумавши, зможемо щось таки з'ясувати і чимось собі зарадити. Критичне мислення — невід'ємна частина наших намагань зрозуміти світ, особливо з усіма тими рекламодавцями та політиками, які так гучно розповідають нам про свою всеосяжну обізнаність. Нам потрібно вміти придивлятися до фактів, а тоді доходити свого висновку про те, що вони нам кажуть. На кону щось значно більше, ніж наше щоденне життя. Бо саме ми відповідаємо за цивілізацію. Ми голосуємо, вибираємо, що купувати і як жити, а тоді разом з усім людством ідемо далі. Ніхто не в змозі зрозуміти всіх деталей нашого складного світу, але основні принципи — це безцінні знаряддя, які варто захопити із собою в дорогу.

Беручи все це до уваги, думаю, що бавитися фізичними іграшками з навколишнього світу — це щось більше, ніж «розвага», попри те, що особисто я — велика прихильниця забави заради самої забави. Наука — це не тільки збирання та накопичення фактів — це логічний процес віднаходження розв'язків. Завдання науки полягає в тому, що кожен може поглянути на певні дані та на їхній основі дійти обґрунтованого висновку. Спочатку такі висновки можуть відрізнятися один від одного, але тоді ви йдете далі й збираєте ще більше даних, які допомагають вибрати між двома різними описами світу, і, врешті, висновки таки починають збігатися. Ось саме цим наука й відрізняється від ненаукових дисциплін, бо наукова гіпотеза дає конкретні прогнози, які можна потім перевірити. А це означає, якщо хтось має певну ідею щодо того, як, на його погляд, щось працює, то наступним кроком має стати обмірковування, які будуть наслідки запропонованої ідеї. Особливо наполегливо треба дошукуватися наслідків, які можна перевірити,

зокрема тих, чию хибність можна довести. Якщо ваша гіпотеза підтверджується, пройшовши всілякі випробування, то ми обережно починаємо погоджуватися, що це, мабуть, хороша модель розуміння того, як влаштований світ. Наука завжди прагне вказувати на помилки, бо це найкоротший шлях до знання того, що насправді відбувається.

Для експериментування зі світом вам не потрібно бути фаховим науковцем. Обізнаність лишень з основними принципами фізиками дозволить вам багато чого зрозуміти самостійно — не залежно від інших. Іноді це навіть не якийсь упорядкований процес, та ось частинки головоломки вже складаються, немов самі по собі в єдине ціле.

Одна з моїх улюблених подорожей у незвідане розпочалася з розчарування: я робила варення з чорниць, і воно раптом стало рожевим. Яскраво рожевим, кольору фуксії. Сталося це кілька років тому, коли я жила на Род-Айленді і саме займалася залагодженням усіляких справ перед поверненням до Великої Британії. Я вже майже з усім попоралася, але залишалася ще одна справа, яку мені дуже хотілося закінчити перед від'їздом. Я дуже любила чорниці: для мене вони — щось екзотичне, незвичне, а до того ж мають прегарний химерно-синій колір. У більшості місць, де я жила, чорницю можна було знайти хіба що в дуже мізерній кількості, але на Род-Айленді її було пребагато — ба більше, того року вона вродила надивовижу рясно. Мені захотілося зробити з отієї літньої чорничної щедрості трохи варення і привезти його до себе у Велику Британію. Тому останнього ранку перед від'їздом я збирала й перебирала чорницю.

Найважливіше і найбільш захопливе в чорничному варенні — це, безперечно, те, що воно темно-сине. Принаймні я так гадала. Але природа мала інший план. Колір киплячого варення в каструлі можна було назвати яким завгодно, тільки не темно-синім. Ось уже наповнила слойки просто чудовим на смак варенням. Але в'язке розчарування та нерозуміння причин зміни кольору не давали мені спокою разом із рожевим варенням аж до самої Великої Британії.

Шість місяців потому знайомий попросив мене допомогти йому в розв'язанні історичної загадки. Він саме готував телевізійну передачу про відьом, тож казав, що має записи про «ворожок», які варили пелюстки вербени у воді, а тоді клали відвар людям на шкіру, аби знати, чи їх, бува, не вrekli. Його цікавило, чи вони не виявляли чогось системного попри те, що воно було не тим, що вони доказували. Провела деякі дослідження і з'ясувала, що саме так все й могло бути.

Фіолетові квіти вербени, як і червона капуста, мальтійські помаранчі, а також багато інших червоних і фіолетових рослин містять хімічні сполуки, що називаються антоціанами. Сполуки є барвниками, які надають рослинам яскравого кольору. Існує кілька різновидів таких барвників, тому кольором вони дещо відрізняються, однак усі мають однакову молекулярну будову. Але це ще не все. Колір також залежить від кислотності рідини, в якій перебуває молекула, від так званого «значення рН». Коли змінюється середовище, тобто стає трохи кислотнішим або трохи більш лужним, то молекули дещо змінюють свою форму, тому змінюється їхній колір. Вони — такі собі показники чи індикатори, тобто природні лакмусові папірці.

Ними до безкінечності можна бавитися на кухні. Спочатку відварюємо рослину, щоб отримати барвник. Для цього треба кинути в окріп трохи червоної капусти, а воду потім остудити (вона буде фіолетовою). Якщо додати крапельку оцту, то вода стане червоною. Розчин прального порошку (а він є сильним лугом) зробить її жовтою або зеленою. Можна створити цілу веселку кольорів з того, що ви маєте на кухні. Сама знаю, бо особисто так робила. Мені дуже сподобалося це відкриття, адже антоціани є скрізь і доступні для всіх. Тут не потрібно навіть хімічного набору!

Отже, дуже навіть може бути, що ворожки використовували квіти вербени для встановлення значення рН, а не якихось вроків або чарівництва. Значення рН шкіри різних людей суттєво різняться, тому накладення на шкіру вербенового відвару здатне зумовити різне забарвлення в різних людей. Коли я спітніла від довгої

пробіжки, то можу змінити колір капустиної води з фіолетового на блакитний, але вода не змінює свого забарвлення, якщо я не робила фізичних вправ. Знахарки-ворожки могли помітити, що відвар вербени на шкірі різних людей отримував різне забарвлення, а тоді витлумачили це явище по-своєму. Ми ніколи не дізнаємося, як було насправді, але така гіпотеза здається правдоподібною.

Ну годі вже про ту історію. І тут я згадала про чорничне варення. Чорниці мають темно-синій колір, бо містять антоціани. У складі варення чотири інгредієнти: власне, ягоди, цукор, вода та лимонний сік. Лимонний сік сприяє тому, аби пектин, який міститься в ягодах, активніше згущував варення. А відбувається це через те, що... сік є кислотою. Тобто моє варення стало рожевим, тому що зварені в каструлі чорниці відіграли роль великого лакмусового папірця. Щоб добре згустити, воно просто мусило стати рожевим. Захоплення від розв'язання загадки з лихвою компенсувало розчарування від того, що не вдалося зробити темно-синього варення. Сповна. Бо відкриття, що з однієї ягоди можна отримати цілу веселку кольорів, — великий скарб, вартий своєї офіри.

У книжці, що у вас в руках, ідеться про пов'язування малих речей, які бачимо щодня, з великим світом, в якому живемо. Це таке собі бавлення з фізичним світом, коли на прикладах зі смаженою кукурудзою, з калюжами кави та магнітиками на холодильниках можна пролити світло на експедицію Скотта, медичні дослідження, навіть посприяти розв'язанню наших майбутніх потреб в енергоресурсах. Наука — це не про «них», а про «нас», і кожен з нас може пережити ту пригоду по-своєму. Кожен розділ у цій книжці розпочинається з чогось такого, що ми часто бачимо, але над тим не задумуємося. У кінці кожного розділу можна побачити, як прості зразки пояснюють найважливіші досягнення науки й техніки наших часів. Кожне міні-дослідження корисне саме по собі, але справжня нагорода — складання всіх частинок головоломки в одне ціле.

Є також ще одна користь від знання того, як влаштований і діє світ, але про неї науковці говорять чомусь недостатньо часто.

Розуміння того, що рухає світом, змінить наше бачення. Світ — мозаїка з фізичних систем, а коли ми ознайомлені з його основними принципами, то починаємо усвідомлювати, як вони між собою взаємодіють. Сподіваюся, що мірою прочитання цієї книжки наукові знання-пташенята, які вилуплюватимуться з кожного розділу, швидко вберуться в пір'я, подорослішають і стануть іншим способом мислення та баченням світу. В останньому розділі книжки йдеться про те, як різноманітні зразки візерунків з'єднуються й утворюють три системи життєзабезпечення — людське тіло, нашу планету і цивілізацію. Але погоджуватися з моїм баченням не обов'язково. Суть науки — самостійне експериментування з принципами, обміркування всіх наявних доказів, а тоді доведення до власних висновків.

Склянка — це лишень початок.