

Буря в склянці води. Захоплива фізика повсякденного життя
Елен Черскі

Кавові плями, попкорн та улюблені магнітики на холодильнику. Ці речі оточують нас у повсякденному житті. А чи міркували ви над тим, що спільного між ними та зміною клімату, енергетичною кризою й медичними інноваціями? І до чого тут узагалі фізика? Просто та з гумором Елен Черскі пояснює, які наукові ідеї ховаються за буденними явищами та як усе це тісно переплітається між собою. Чому в качок не мерзнуть лапи, коли вони ходять по кризі? Чому кетчуп так повільно витікає з пляшки? Чому молоко, яке ми додаємо до кави або чаю, схоже на грозові хмари? Надзвичайні фізичні закони, під вплив яких ми щодня потрапляємо та яких не помічаємо й не можемо пояснити. Закони, які є універсальними та діють будь-де – і на вашій кухні, і в найвіддаленіших куточках усесвіту.

Хелен Черски

Буря в склянці води

Захоплива фізика повсякденного життя

Моїм батькам Янові й Сюзен

Коли я навчалася в університеті, то в будинку Бабуні повторювала фізику. І на Бабуню, практичну уродженку півночі, справило велике враження, коли я їй сказала, що вивчаю будову атома.

– Ого, – здивувалася вона, – а що за допомогою тих знань можна зробити?

І то було дуже слушне запитання.

Вступ

Ми живемо на самому краєчку Землі, на межі з рештою всесвіту. Поганої 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 дослідах 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 поверхнею 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, доки 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 відрізняти 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 мить 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 відає. 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 самотійно 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 тяжко 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 кваліфікуєтесь 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 посередництвом 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, чия 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 навдивовижу 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 слоїки 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 pH». 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 таке

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 pH, а не якихось вроків або чарівництва. Значення pH шкіри різних людей суттєво різняться, тому накладення на шкіру вербенового відвару здатне зумовити різне забарвлення в різних людей. Коли я спитніла від довгої пробіжки, то можу змінити колір капустяної 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 світ, 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 бачення 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, обмірковування всіх наявних доказів, а тоді доведення до власних висновків.

Склянка – це лишень початок.

1. Кукурудзяні баранці і ракети

Газові закони

Вибухи на кухні загалом не є чимось бажаним. Але іноді невеличкі вибухи спричиняються до чогось смачного. Висушені кукурудзяні зерна містять багато істивних складників, як-от: вуглеводні, білки, залізо, калій, але вони надто щільно запаковані, і дістатися до тих складників нелегко через тверду шкірку. Їхній потенціал – заманливий, але, щоб вони стали істивними, необхідно піддати їх докорінній перебудові. Вибух – вхідний квиток, і дуже навіть зручно, що зерна містять осердя власного саморуйнування. Учора ввечері я вдалася до своєрідних стрільб на кухні й приготувала трохи попкорну, тобто кукурудзяних баранців. Завжди приємно дізнаватися, що всередині за твердою, неприємною шкіркою ховається щось м'якше, але чому в цьому випадку замість того, щоб розірватися на частинки, зерно перетворюється на пухнасту хмаринку?

Коли олія на сковорідці зашкварчала, я висипала ложку кукурудзяних зерен, накрила кришкою, а тим часом поставила на плиту чайник з водою, щоб заварити чаю. А надворі, за вікном, знялася буря, стукотіла великими важкими краплями в шибки. Кукурудза смажилася на олії, стиха сичала. Здавалося, що геть нічого так і не відбудеться, аж тут на сковорідці розпочалося шоу. У кожному кукурудзяному зерні є зародок, з якого потім виростає нова рослина, а ще ендосперм, тобто поживне середовище, що відіграє роль їжі для нової рослини. Ендосперм складається з крохмалю у вигляді гранул і містить близько 14 % води. Коли зерна смажаться в гарячій олії, вода випаровується і перетворюється на пару. Щойно зерна нагріються, гарячі молекули починають рухатися швидше, а молекули води буквально гасаять всередині зерен у вигляді водяної пари. Еволюційне завдання оболонки кукурудзяного зерна полягає в тому, щоб витримати облогу ззовні, але тепер зерняткові доводиться стримувати внутрішній заколот, бо воно перетворюється на міні-скороварку. Молекули води, що випарувалися, не знаходять виходу назовні, тому тиск всередині зростає. Молекули газу безперервно наштовхуються одна на одну й на оболонку зернятка, кількість молекул газу зростає, вони рухаються щораз швидше, щораз сильніше барабанять по стінках оболонки зсередини.

Принцип скороварки побудований на тому, що гаряча пара дуже швидко все готує, і те саме відбувається всередині кукурудзяного зернятка. Поки я шукала пакетики чаю, крохмальні гранули перетворювалися під дією температури на драглистий слиз, а тиск зростав і зростав. Зовнішня оболонка кукурудзяного зернятка якийсь час здатна витримувати такий тиск, але тільки до певної міри. Коли температура всередині наближається до 180 °C, а тиск зростає вдесятеро порівняно з тиском навколишнього повітря,

то слиз опиняється за крок від перемоги. Я злегка потрусила сковорідкою і почула в ній перше глухе потріскування. За кілька секунд до мене долинула ніби черга якогось міні-кулемета, і я навіть побачила, як підстрибує кришка, обстріляна зсередини. З кожним почутим вистрілом щоразу здійснювалася невеличка хмарка пари з краю кришки на сковорідці. На мить я відволіклася, щоб налити чаю, і протягом тих кількох секунд град вистрілів пересунув кришку, і в повітря полетіли кукурудзяні оболонки.

У момент катастрофи правила міняються. До тієї миті стала кількість водяної пари перебувала в обмеженому просторі, тому зі зростанням температури постійно зростав тиск усередині оболонки. Але коли тверда оболонка все ж таки піддалася, її внутрішній вміст потрапив у середовище з атмосферним тиском, панівним для решти сковорідки і без жодних обмежень в об'ємі. Крохмальний слиз далі був переповнений гарячими швидкими молекулами, але їх уже ніщо не стримувало. Тож він розширився під час вибуху, аж поки тиск усередині не врівноважився з тиском назовні. Стиснутий білий слиз став білою пухнастою піною, що вивертала ціле зернятко; поки температура спадала, піна застигла і ствердла. Зміна завершилася.

Висипаючи підсмажені, уже вибухлі, зерна кукурудзи зі сковорідки, помічаю ще кілька «недобитків». Темні, обпалені зерна, що не вибухнули, сумно торохтять на дні сковорідки. Якщо оболонка зерна пошкоджена, то хай би скільки було в ньому пари, при нагріванні вона просто з нього виходить через тріщину, тому тиск не зростає. Причина того, що одні зерна вистрілили, а інші так і залишилися цілими, полягає якраз у ніздрюватості оболонки таких зерен. Якщо зерно занадто сухе (можливо, було зібране в неналежний час), то в ньому бракує вологи для створення тиску, щоб розірвати оболонку. Без раптового вибуху неістівні зерна кукурудзи далі залишаються неістівними.

Узяла миску зі смачно приготованим кукурудзяними баранцями до вікна. Стояла з чашкою чаю і дивилася на зливу за вікном. Руйнування не завжди означає щось лихе.

Краса – у простоті. А ще приємніше бачити, як краса постає зі складності. Для мене закони, що керують поведінкою газів, нагадують одну з оптичних ілюзій, – коли думаєш, що бачиш одну річ, а тоді кліпнеш оком і бачиш щось цілком інше.

Ми живемо у світі, що складається з атомів. Кожна із цих крихтих цятوک матерії вкрита характерним візерунком негативно заряджених електронів – компаньйонів важких позитивно заряджених ядер усередині. Хімія – це історія тих компаньйонів, які ділять свої обов'язки між кількома атомами, змінюючи структуру, завжди керуючись суворими правилами квантового світу, і тримаючи ядра-бранці у більших системах, молекулах. У повітрі, яким я дихаю, коли ось друкую ці рядки, є пари атомів кисню (кожна така пара – це одна молекула кисню), що рухаються зі швидкістю 900 миль [1 – Приблизно 1450 кілометрів. (Тут і далі прим. перекл., якщо не зазначено інше.)] за годину, ударяючись об пари атомів азоту, що літають зі швидкістю 200 миль [2 – Приблизно 320 кілометрів.] за годину, а тоді, можливо, відбиваються від молекули води і мчать зі швидкістю 1000 миль [3 – Приблизно 1600 кілометрів.] за годину. Це страхотливо заплутаний безлад –

різні атоми, різні молекули, різні швидкості – у кожному кубічному сантиметрі повітря близько 30 000 000 000 000 000 000 (3 x 10

) окремих молекул, кожна з яких об щось ударяється близько мільярда разів за секунду. Тут виникає думка: а чи не ліпше все це покинути, поки не пізно, і зайнятися, наприклад, нейрохірургією, економічною теорією або ж навіть зламом суперкомп'ютерів. Тобто зайнятися чимось простішим. Можливо, що першовідкривачі властивостей газів про таке штовхання навіть не здогадувалися. Так, невідання іноді буває корисним. Поняття атомів не приживалося в науці аж до початку XIX сторіччя, а цілковите доведення їхнього існування сталося не раніше 1905 року. У 1662 році єдине, що мали у розпорядженні Роберт Бойль і його помічник Роберт Гук, – то сякий-такий скляний лабораторний посуд, ртуть, трохи закупореного повітря й достатня кількість незнання. Вони зробили відкриття: коли тиск на повітряну кишеню збільшувався, його об'єм ставав меншим. Ось у цьому й полягає закон Бойля – Маріотта, який пояснює: при постійній температурі об'єм газу в замкнутій посудині обернено пропорційний тиску. Сто років потому Жак Шарль відкрив, що об'єм газу прямо пропорційний його температурі. Якщо вдвічі підвищити температуру, то об'єм газу також збільшується вдвічі. У це важко повірити. Як настільки складне атомне завихрення здатне призвести до чогось настільки простого й послідовного?

Ще один, останній, вдих повітря, ще один спокійний помах м'ясистим хвостом, і велетенська лишає атмосферу позаду. Усе, що цьому кашалоту буде потрібно для життя протягом наступних 45 хвилин, зберігається в його тілі, тому починається полювання. Здобичку має стати велетенський кальмар, гумова потвора, озброєна щупальцями, зловісними присосками та страхітливим дзьобом. Аби знайти свою жертву, кашалоту потрібно зануритися глибоко в справжню океанічну темряву, у місця, куди не доходить сонячне світло. Зазвичай він пірнає на 500-1000 метрів, а задокументований рекорд становить два кілометри. Кит зондує простір гідролокатором, яким з великою точністю прощупує темін, очікуючи на слабке відлуння, бо воно означатиме, що десь неподалік плаває обід. А велетенський кальмар борознить води, нічого не усвідомлює й не підозрює жодної небезпеки, бо він глухий.

Найцінніший скарб, який кашалот несе із собою в глибочині, – це кисень, необхідний для підтримання хімічних реакцій з наснаження його плавальних м'язів і всіляких життєвих процесів. Але газоподібний кисень, отриманий з атмосфери, у водній глибочині стає киту на заваді: шойно гігант зникає під поверхнею океану, повітря в легенях, фактично, перетворюється на важку ношу. З кожним наступним метром занурення вага води щораз сильніше тисне на кашалота. Молекули азоту та кисню відбиваються одні від одних, а також від стінок легень кита, і кожне таке зіткнення спричиняється до крихітного поштовху. На поверхні зовнішні та внутрішні поштовхи врівноважуються. Але під час занурення кашалота величезна вага води над тілом його буквально розчавлює, і сила, що тисне ззовні, переважає силу, що тисне зсередини. Тому стінки легень піддаються зовнішньому тиску аж до урівноваження зовнішніх і внутрішніх сил. Рівновага сил досягається завдяки стисканню легень кита; кожна з молекул тепер має менше місця для руху, тому зіткнення відбуваються дедалі частіше. А це означає, що об кожен клаптик стінок легень тепер б'ється більше молекул, тиск останніх усередині

зростає доти, доки не врівноважується натиском молекул зовні. Десятиметрової глибини вистачає для отримання тиску ще однієї додаткової атмосфери. Навіть на такій глибині, коли кит може бачити поверхню (ну раптом гляне вгору), його легені вже менші наполовину від початкового об'єму. Тобто відбувається вдвічі більше зіткнень молекул зі стінками легень, що відповідає подвійному тиску ззовні. Але кальмар може перебувати на глибині навіть одного кілометра, і тім величезний тиск води зумовлює надзвичайне зменшення легень – навіть до 1 % об'єму, який вони мали на поверхні.

І ось нарешті кашалот чує, як одне з його гучних клацань таки відбивається. З «усохлими» легеньми, керуючись гідролокатором, кит готується до битви у водній темряві. А велетенський кальмар – добре озброєний, тому якщо він у підсумку навіть і здасться, то кит все одно може зазнати серйозних ушкоджень і виплисти на поверхню зі страшними шрамами. Але звідки в нього береться енергія для боротьби без кисню в легеньми?

Клопіт зі стисненими легеньми полягає в тому, що при одній сотій того об'єму, який був на поверхні, тиск газу всередині них у сто разів більший від атмосферного. В альвеолах легень – кінцевих частинках легень, через стінку яких здійснюється газообмін кисню та вуглекислого газу у кров і з крові, – такий тиск впхав би в кров і розчинив в ній і додатковий азот, і кисень. Це призвело б до крайньої форми того, що пірнальники називають «кесонном», або декомпресійною хворобою, – коли під час спливання на поверхню додатковий азот пузириться в крові і завдає непоправної шкоди організму. Еволюційним розв'язанням стало цілковите закриття альвеол, від моменту занурення кита. Іншого виходу просто немає. Але кит і під водою має доступ до запасів енергії, оскільки здатний накопичувати велику кількість кисню в м'язах і крові. У кашалота вдвічі більше гемоглобіну, ніж у людини, і вдесятеро більше міоглобіну (білку, що використовується для накопичення енергії у м'язах). Ці потужні резерви кити поповнюються на морській поверхні. Коли кашалоти пірнають глибоко під воду, то ніколи не використовують кисень, що лишається в легеньми. Це небезпечно. Також під водою вони користуються не лише повітрям зі свого останнього вдиху. Вони живуть і борються, споживаючи додаткову енергію, накопичену у м'язах, а також із прихованих запасів, які поновлюються під час перебування на поверхні океану.

Ще ніхто не бачив боротьби між кашалотом і велетенським кальмаром. Але в шлунках мертвих кашалотів можна знайти цілу колекцію дзьобів – єдиної частини тіла кальмара, яка не перетравлюється. Тож кожен кит тягає у собі чималеньку кількість трофеїв – свідчень переможних битв. Коли кашалот-переможець спливає до сонячного світла, його легені поступово розправляються і знову з'єднуються з кровоносною системою. Коли тиск знижується, об'єм легень поволі збільшується, аж поки не набуває початкової форми.

Як не дивно, поєднання складної поведінки молекул зі статистикою (остання також не асоціюється з простотою) дає на практиці відносно простий результат. Так, дійсно дуже багато молекул і дуже багато зіткнень, а також дуже багато різних швидкостей, проте існує лишень два важливих чинники – діапазон швидкостей, з якими рухаються молекули, і середня кількість зіткнень молекул зі стінками посудини. Рівень тиску визначається кількістю

зіткнень і силою кожного зіткнення (залежно від швидкості та маси молекули). Сумарний напір всього цього зсередини, протиставлений напору ззовні, є визначальним для об'єму. Тут додається ще й вплив температури.

– І хто б тепер ще чимось переймався? – Наш вчитель, Адам, одягнений у білий кітель, з-під якого радісно випинається чималий животик, бо саме цього й хоче кастингове агентство від виконавця ролі великого пекаря. Сильний лондонський акцент кокні тільки додає йому колориту. Тицяє пальцем у сумний балабух тіста на столі перед ним – і воно чіпляється до пальця, наче живе, яким воно, до речі, і є. – Для доброго хліба, – проголошує він, – нам потрібне повітря. – Це я стою в пекарській школі і вчуся пекти фокачу – традиційний італійський хліб. Добре пам'ятаю, що востаннє надягала фартух, коли мала, може, років десять. І хоча я вже спекла не одну хлібину, але жодного разу не бачила настільки пухкого тіста, а це означає, що я таки вчуся чогось дійсно нового.

Виконуючи всі настанови Адама, ми слухняно починаємо місити кожен своє тісто, як-то кажуть, з нуля. Змішуємо свіжі дріжджі з водою, а тоді з борошном і сіллю, працюємо енергійно, немов якісь масажисти, а все для того, щоб виробити клейковину – білок, який надає хлібу пружності. Цілий час, коли розтягуємо й розриваємо фізичну структуру тіста, наявні в ньому живі дріжджі зайняті ферментацією цукрів і продукуванням вуглекислого газу. Це тісто, як і всі ті види тіста, що я вимішувала дотепер, наразі не має в собі анітрохи повітря, а тільки бульбашки вуглекислого газу. Тягучий, липкий, золотавий біореактор, всередині якого перебувають продукти його життєдіяльності. Після купелі в оливковій олії, коли пройдено перший етап, тісто далі собі піднімається, а ми зчищаємо його з своїх рук, столу, а також з дивовижно широкої площі навколо нас. Під час кожної реакції бродіння утворюються дві молекули вуглекислого газу, що виштовхують дріжджі. Вуглекислий газ, або CO

– два атоми кисню, причеплені до атома вуглецю, – це невелика молекула, що не вельми часто вступає в реакцію, але за кімнатної температури має досить енергії, щоб вивільнитися і поширюватися у вигляді газу. Коли вона потрапляє в бульбашку разом з іншими молекулами вуглекислого газу, то годинами може вдарятися об стінки тіста, як ота електрична машинка з атракціону вдаряється бампером об бампери інших машинок. Щоразу, коли вона б'ється об іншу молекулу, відбувається обмін енергією, немов у більярді одна куляка вдаряється об іншу. Буває, що куляка вдаряється об іншу кулю, тому перша майже зупиняється, а друга перебирає від неї ледь не всю її енергію і мчить із великою швидкістю. Іноді енергія розподіляється між ними. Щоразу, коли молекула вдаряється об стінку бульбашки з клейковини, вона, відбиваючись, штовхає її. На цьому етапі бульбашки збільшуються саме завдяки ось таким зіткненням – кожна з них утримує дедалі більше молекул всередині себе, тож натиск газу назовні стає щоразу більшим. Бульбашки розширюються, аж поки атмосферний тиск не врівноважує тиск молекул CO

. Іноді молекули CO

, ударяючись об стінки бульбашки, рухаються швидше, а іноді – повільніше. Пекарям, як і фізиками, все одно, які молекули, в які стінки і з якою швидкістю вдаряються, бо це справа статистики. За кімнатної температури та атмосферного тиску 29 % таких молекул рухаються зі швидкістю від 350 до 500 метрів за секунду, і не має значення, що це за молекули.

Адам плескає в долоні, щоб привернути нашу увагу, і плавним помахом руки, ніби якийсь чарівник, відслоняє тісто, що росте. А тоді робить щось для мене цілком нове. Він розтягає змащене оливковою олією тісто і складає його вдвоє – з кожного боку. І при цьому намагається спіймати якнайбільше повітря в складки. Спочатку мені хочеться сказати: «Та ж він нас дурить!», – бо я завжди знала, що все «повітря» в хлібі – CO

з дріжджів. Колись я бачила майстра з оригамі в Японії, який захоплено розповідав учням, як правильно застосовувати клейку стрічку до зробленого з паперу коня, тоді відчула обурення, дуже схоже на те, яке мене охопило тепер у пекарні. Але якщо нам потрібно повітря, то чому не використати його? Після випікання і так ніхто нічого не зауважить. Я послухалася досвідченого пекаря і покійно зігнула своє тісто. Кілька годин потому тісто знову піросло, і я його знову кілька разів зігнула, а відтак воно ввібрало в себе стільки олії, що мені аж не вірилося, що таке може бути, моя фокача, яка саме народжувалася, з усіма її бульбашками була готова, щоб її всадити в піч. Настав час для «повітря» обох видів.

У печі хліб потрапив під дію теплової енергії. Тиск усередині залишався таким, як і зовні, але температура піднялася з 20 °C до 250 °C. В абсолютних одиницях з 293 K до 523 K (кельвінів), тобто температура майже подвоїлася[4 – Про абсолютну температуру йдеться у розділі 6. (Прим. авт.)]. Для газу це означає пришвидшення руху молекул. Для нас є нелогічним і незрозумілим, чому окремі молекули не мають своєї власної температури. Газ – скупчення молекул – може мати температуру, але окрема молекула в газі температури не має. Температура газу – лишень спосіб вираження того, скільки енергії руху в середньому мають молекули газу, але кожна окрема молекула постійно то прискорюється, то сповільнюється, обмінюючись енергією з іншими молекулами в зіткненнях. Кожна окрема молекула, немов та машинка в лунапарку: наштовхується на інші молекули-«машинки» з енергією, яку вона має в оцю мить. Що швидше вони рухаються, то сильніше вдаряються об стінки бульбашок, тим вищий генерують тиск. Коли хліб усаджений до печі, молекули газу раптом отримують набагато більше теплової енергії та прискорюються. Середня швидкість зростає з 480 метрів до 660 метрів за секунду. Тому напір на внутрішні стінки бульбашок істотно зростає, а ззовні залишається таким самим. Кожна бульбашка розширюється пропорційно до температури, тисне тісто назовні й змушує його рости. А тепер найцікавіше: повітряні бульбашки (переважно азоту і кисню) розширюються так само, як бульбашки вуглекислого газу. Це останній елемент головоломки. Виявляється, що не має значення вид молекули. Якщо вдвічі зростає температура, то вдвічі збільшується об'єм (за умови, що тиск не змінюється). Або якщо об'єм не змінюється, а температура підвищується вдвічі, то тиск подвоюється. І байдуже, чи наявні атоми – однакові, а чи різні, бо для будь-якої суміші атомів статистика не міняється. Ніхто, дивлячись на спечений хліб, не може визначити, які бульбашки були наповнені CO

, а які – повітрям. Білкова та вуглеводнева в'язка речовина навколо бульбашок спеклася й застигла. Усталилися розміри бульбашок. Біла, пухка фокача – готова.

Властивості газів описують так звані «закони ідеального газу», а ідеалізм виправдовується фактом, що ті закони дійсно діють. І навіть дуже добре. Закони проголошують: якщо маса газу стала, то його тиск пропорційно обернений до його об'єму (якщо тиск подвоюється, то об'єм зменшується вдвое), температура прямо пропорційна тиску (підвищення температури вдвічі збільшує вдвічі і об'єм); а також: об'єм при сталому тиску прямо пропорційний температурі. І немає значення, яким є газ, – важливо, яка кількість молекул його складає. Саме закони ідеального газу працюють в двигунах внутрішнього згорання, повітряних кулях, а також... в кукурудзяних баранцях. І їх можна застосовувати не лише коли щось нагрівається, а й коли щось охолоджується.

Підкорення Південного полюса людиною було важливою віхою в історії людства. Великі полярні дослідники – Амудсен, Скотт, Шеклтон та інші – справжні легенди, а книжки про їхні досягнення стали найвідомішими пригодницькими історіями усіх часів і народів. Так, ніби їм не вистачало злигоднів, пов'язаних із холодом, нестачею продовольства, бурхливими океанами та невідповідним для таких умов одягом – аж тут супроти них у буквальному значенні цього слова почав діяти, ополчився потужний закон ідеального газу.

Центральна частина Антарктики – високе, сухе плоскогір'я. Воно вкрите товстим шаром криги, але рідко коли там падає сніг. Яскрава біла поверхня відбиває майже все слабке сонячне проміння в космос, а температура може падати до -80°C . Там тихо. На атомарному рівні атмосфера на тій ділянці інертна, оскільки молекули повітря мають мало енергії (через холод) і рухаються досить повільно. Холодне повітря опускається на плоскогір'я і крига відбирає рештки тепла. Тиск – сталий, тому повітря втрачає в об'ємі і стає щільнішим. Молекули розташовуються ближче одна до одної, рухаються повільніше, неспроможні з достатньою силою тиснути назовні і протистояти довколишньому повітрю, що тисне всередину. Позаяк суходіл знижується із центральної частини континенту до океану, то й холод, неначе повільний повітряний водоспад, невпинно скачується із центру разом зі щільним повітрям. Сповзає лійками розлогих долин, набираючи швидкості, коли ці улоговини спускаються вже назовні, завжди в бік океану. Це – стоковий вітер Антарктиди, і якщо ви хочете дістатись Південного полюсу, то він безперервно дутиме вам в обличчя. Важко уявити щось гірше, що природа припасла для полярників.

«Стоковий» – це тільки означення того виду вітру, і він характерний для багатьох місць і не завжди холодних. Коли він скочується донизу, інертні молекули нагріваються, але тільки злегка. Проте наслідки такого нагрівання часом вражають.

У 2007 році я жила в Сан-Дієго і працювала в Інституті океанографії імені Скріппса. Оскільки я походжу з півночі, то досить підозріло ставлюся до безперервно сонячної погоди. Проте я щодня плавала в 50-метровому відкритому басейні, тож не дуже на щось нарікала. Та й заходи сонця були

просто дивовижні. Сан-Дієго розкинувся на узбережжі з прегарним видом на захід, тобто на Тихий океан, і вечоровий небокрай там просто приголомшливий.

Мені дуже бракувало змін пір року. Здавалося, я застигла в часі на одному місці, немов уві сні. Але потім прийшов вітер Санта-Анна, спочатку сонячний, теплий і бадьорий, а тоді спекотний і сухий. Санта-Анна з'являється щосені, коли з високо розташованих пустель спадає повітря і пливе над узбережжям Каліфорнії в напрямку до океану. Це також стоковий вітер, як і в Антарктиді. Але поки він дістається океану, то повітря нагрівається і стає на узбережжі значно теплішим, ніж на високому плоскогір'ї. Пам'ятаю день, коли їхала на північ автострадою I-5, у бік однієї з великих долин, звідки гаряче повітря через вузький прохід перетікало до океану. На дні посеред долини простягнулася ріка низьких хмар. За кермом був мій хлопець. «Ти відчуваєш дим?» – запитала я. «Не вигадуй», – сказав він. Але наступного ранку я прокинулася в химерному світі. На північ від Сан-Дієго шаленіли лісові пожежі, які уперто просувалися долинами, а в повітрі відчутно пахло згарищем. За сухих погодних умов від якогось табірної багаття зайнявся ліс, і тепер вітер гнав вогонь у напрямку океану. Ота ріка хмар була димом. Люди поспішали на роботу, декому запропонували залишитися вдома, дехто сидів біля радіоприймача, подумки себе запитуючи, а чи, бува, пожежа не дістанеться і його будинку. Ми чекали. Обрій узявся імлюю попільних хмар, видимих навіть з космосу, а захід сонця видався просто феєричним. Три дні потому дим почав підніматися. Дехто з моїх знайомих втратив у вогні будинки. Усе вкрилося шаром попелу, а влада застерігала від фізичної активності протягом тижня на відкритому повітрі.

Там, на високому плоскогір'ї, пустельне повітря охолело, стало щільнішим і сповзало схилами, як ті вітри, на які Скотт наразився в Антарктиді. Але до лісових пожеж спричинилася не лишень сухість повітря, але й також його гарячість. А чому б повітря ставати щораз гарячішим, коли воно спускалося з пагорбів? Звідки взялася енергія? І тут знов діє закон ідеального газу – повітря мало визначену масу й рухалося настільки швидко, що не встигало обмінятися енергією зі своїм оточенням. Коли потік щільного повітря ринув униз схилами, атмосфера в підніжжі пагорбів почала напирати на нього, бо там тиск вищий. А напирання чогось на щось – це завжди передавання енергії від чогось отому «щось». Можна уявити собі, як окремі молекули повітря вдаряються об стінки повітряної кулі, що рухаються в їхньому напрямку. Після зіткнення вони рухаються з більшою енергією, бо відбилися від рухомої поверхні. Об'єм повітря у вітрі Санта-Анна зменшується, бо він стискається під впливом довколишньої атмосфери. І стискання надає молекулам, що переміщуються, додаткової енергії, тому й температура вітру збільшується. Таке явище називається адіабатичним процесом. Щороку, коли приходить вітер Санта-Анна, усі в Каліфорнії уважно пильнують, щоб десь не залишити непогашене джерело відкритого вогню. По кількох днях вітру, коли спекотне, сухе повітря висушить усю вологу з довкілля, для виникнення лісової пожежі вистачить навіть іскри. І тепло надходить не лише від каліфорнійського сонця, але також є результатом додаткової енергії, отриманої молекулами мірою їхнього стискання під дією щільнішого повітря ближче до океану. Усе, що змінює середню швидкість молекул повітря, змінює температуру.

Те саме, тільки навпаки, відбувається, коли порскати збитими вершками з банки. Повітря, що виходить із вершків, раптом розширюється і розштовхує навколишнє середовище, тому віддає свою енергію й охолоджується. Ось чому випускний отвір балона вершків на дотик стає холодним – газ, що виходить крізь нього, у навколишній атмосфері віддає свою енергію. У банці залишається менше енергії, тому вона й стає на дотик холодною.

Повітряний тиск – це тільки міра того, як сильно всі ці крихітні молекули стукають об поверхню. Звичайно, ми його не дуже помічаємо, бо такий самий вплив чиниться з обох боків, – коли тримаємо в повітрі аркуш паперу, то він не рухається, бо натиск відбувається з обох боків. Усі ми весь час зазнаємо натиску повітря, але цього майже не помічаємо. І людям знадобилося чимало часу, щоб визначити, наскільки сильним є такий натиск. А коли відповідь стала відомою, виявилось, що вона насправду приголомшлива. Величину відкриття легко було оцінити з огляду на дуже пам'ятну демонстрацію. Нечасто важливий науковий експеримент постає у формі театрального дійства, але демонстрація цього експерименту мала усі необхідні складові: коні, тривожне очікування, дивовижний результат, та й ще за всім спостерігав імператор.

Складність демонстрації того, наскільки сильним є тиск повітря на якусь річ, полягає в тому, що потрібно із другого боку тієї речі забрати все повітря, залишивши там тільки вакуум. У IV сторіччі до нашої ери Аристотель оголосив, що «природа не переносить вакууму», і такий погляд залишався панівним упродовж тисячі років. Створення вакууму видавалося неможливим. Але близько 1650 року Отто фон Геріке винайшов поршневу помпу. Замість того щоб писати про свій винахід якийсь технічний звіт, про який дуже швидко забули б, він обрав інший шлях – показати відкриття, перетворивши його на видовище[5 – Таке перетворення тепер не вітається в науці. (Прим. авт.)]. Допомогло йому, певно, те, що він був відомими політиком і дипломатом, тому мав дружні стосунки з тогочасними правителями.

Восьмого травня 1654 року Фердинанд III, імператор Священної Римської імперії і володар великої частини Європи, приєднався до придворних під рейхстагом у Баварії. Отто приніс порожнисту товстостінну мідну кулю, що мала 50 сантиметрів у діаметрі. Складалася куля з двох окремих половинок, які припасовувалися одна до одної гладкими, плоскими поверхнями. Кожна половинка ззовні мала кільця, і до них можна було прив'язати дві міцні ланки, щоб тягти в протилежні боки. Фон Геріке змастив плоскі поверхні жиром, з'єднав половинки і за допомогою щойно винайденої поршневої помпи відкачав з кулі повітря. Ззовні ніщо їх не притискало до купи, але після викачування повітря половинки немовби приклеїлися одна до одної. Отто усвідомлював, що завдяки поршневій pompі може перекоонатися, наскільки сильний тиск чинить атмосфера. Мільярди крихітних молекул ударилися об зовнішню поверхню кулі, притискаючи половинки до купи. Але всередині не було нічого, що могло б напірало б із внутрішнього боку[6 – Ми не знаємо, скільки повітря вдалося Отто відкачати. Він не міг відкачати все, але, видно, йому таки вдалося відкачати зачну його частину. (Прим. авт.)]. Дві півкулі можна відірвати одна від одної, якщо потягнути їх, доклавши силу, більшу, ніж та, що їх стискає до купи, тобто сила напору повітря.

Настала черга коней. До кожної півкулі прив'язали по запрягу, які щосили тягли свою ланку в протилежний бік, і все це нагадувало грандіозне

перетягування канатів. Імператор і його почет спостерігали, як тварини змагаються з невидимим повітрям. Єдине, що утримувало півкулі разом, – сила молекул повітря, які вдарялися об поверхню півкуль, завбільшки з великий пляжний м'яч. Але сили тридцятьох коней таки не вистачило для розділення сфери на половинки. Коли перетягування канату закінчилося, Отто відкрив клапан, впустив у кулю повітря, і дві її половинки відпали самі по собі. Не було жодного питання щодо переможця. Тиск повітря виявився сильнішим, ніж хтось міг собі уявити. Якщо викачати все повітря з кулі такого розміру і підвісити її вертикально, то тиск газу теоретично може втримати 2000 кілограмів, а це маса великого дорослого носорога. Крихітні невидимі молекули вдаряються об нас насправді дуже сильно. Отто здійснював показ багато разів для різної публіки, а сфера стала відомою як Магдебурзька, названа на честь рідного міста дослідника.

Експерименти Отто стали відомими почасти завдяки тому, що про нього писали інші. Його ідеї вперше потрапили до наукового обігу в книзі Гаспара Скотта, опублікованій 1657 року. У ній йшлося про поршневий насос, який надихнув Роберта Бойля і Роберта Гука на власні дослідження щодо тиску газів.

Можна й собі поставити схожий експеримент, ну, зрозуміло, вам не потрібно буде імператорів або коней. Знайдіть квадратний товстий плоский шматок картону, достатньо великий, щоб закрити отвір склянки. Найкраще проводити дослід над раковиною, про всяк випадок. Наповніть водою склянку аж по вінця і покладіть картон зверху. Притисніть картон до вінця склянки так, щоб між поверхнею води і картоном не залишилося повітря. А тоді переверніть склянку догори дном і заберіть знизу руку. Картон, що підтримує всю масу води, залишиться на місці. А тримається він тому, що молекули повітря вдаряються в нього знизу, штовхаючи картон вгору. Того натиску досить для утримування води в склянці.

Бомбардування молекул повітря можна використати не тільки для втримування чогось на місці. Також процес можна застосувати для переміщення речей, і люди були не першими, хто до цього додумався. Візьмемо, наприклад, слона – одного з найбільших спеціалістів на Землі в маніпулюванні речами за допомогою повітря.

Африканський слон – чудовий велетень, який мирно походить собі саваною в сухій пилюці. Сімейне життя слонів обертається навколо гурту самиць. Старша монархія в матріархальному стаді веде кожен гурт на пошуки води та їжі, покладаючись на свою пам'ять щодо навколишніх місць. Щоб вижити, ці тварини сподіваються не тільки на свою вагу. Кожний слон має громіздке неповоротке тіло, зате його хобот – найделікатніший і найчутливіший інструмент у царстві звірів. Коли сімейний гурт мандрує, слони безперервно досліджують світ тим своїм дивним відростком: дають ним сигнали, нюхають, їдять і пирхають.

Хобот слона – незвичайний орган із багатьох причин. Це мережа переплечених між собою м'язів, здатних згинатися, підіймати та зривати предмети з небаченою спритністю. Навіть цього достатньо, щоб упевнено почуватися в савані, але тим краще, що дві ніздрі збігають хоботом до самого його низу. Ніздрі слона – це гнучкі трубки, які з'єднують кінчик хобота, що пихкає, з легенями тварини, і тут починається найцікавіше.

Коли наша слониха та її сімейний гурт наближаються до водопою, молекули нерухомого «повітря» навколо них ударяються одна об одну та штовхаються між собою, як і всюди, бомбардуючи слонячу зморщену сіру шкіру, землю та водну поверхню. Монархія – дещо попереду гурту – хитає хоботом, повільно входить у калюжу і робить брижі на своєму відображенні у воді. Вона занурює хобот у воду, закриває рот, і велетенські м'язи навколо її грудей підносять і розширюють слонячу грудну клітку. Коли легені розширюються, молекули повітря всередині розлітаються, знайшовши новий простір. Але це означає, що всередині в самісінькому кінчику хобота, де холодна вода торкається повітря з його ніздрів, міститься менше молекул повітря, що вдаряються об воду. Ті, що залишилися, далі рухаються з такою самою швидкістю, але зіткнень між ними значно менше. Як наслідок, тиск усередині легень слонихи різко падає. Тепер атмосфера з молекулами повітря, які стукають об поверхню водойми, перемагає молекули газу всередині слонихи. Натиск зсередини більше не стримує натиск ззовні, а вода – це те, що перебуває посередині двох сил. Тож атмосфера штовхає воду вгору хоботом слона, оскільки всередині немає сили для протидії. Щойно вода зайняла трохи вільного місця, молекули води всередині легень знову розташовуються настільки ж близько одна від одної, як це було спочатку, тому вода далі не просувається.

Слон не може хоботом пити воду, – якщо, бува, намагається, то одразу закашлюється, як і закашлявся би кожен із нас, якщо б спробував пити воду носом. Тому щойно слониха має близько восьми літрів води всередині хобота, то далі вже не розширює грудної клітки. Зібгавши хобот під себе і вгору, слониха спрямовує його до рота. Відтак використовує грудні м'язи для стискання грудної клітки і зменшує об'єм легень. Коли молекули повітря всередині легень розташовуються щільніше, то значно частіше вдаряються об водну поверхню, що вже на півшляху вгору хоботом. Перебіг боротьби між повітрям усередині та повітрям зовні змінюється на протилежний, тому вода виштовхується з хобота в рот звіра. Слониха контролює об'єм легень і в такий спосіб керує напором повітря зсередини назовні. Якщо вона закриває рот, то єдине місце, де щось може рухатися, – це її хобот, а те, що є в кінці хобота, заштовхнеться всередину або виштовхнеться назовні. Хобот слона та легені – інструмент для керування повітрям, але радше повітря, а не слониха зумовлює таке штовхання.

Те саме відбувається, коли ми смокчемо якийсь напій через соломинку [7 – А також коли дихаємо. Повітря при кожному зробленому нами вдиху проникає в легені, тому що туди його штовхає атмосфера. (Прим. авт.)]. Коли розширяємо легені, повітря всередині розріджується. У соломинці стає менше молекул повітря, які чинять тиск на поверхню води. Тому атмосфера штовхає решту напою вгору соломинкою. Цей процес ми називаємо смоктанням, але ми не втягуємо напою. Атмосфера штовхає його вгору соломинкою і виконує за нас роботу. У такий спосіб можна пересувати щось настільки ж важке, як вода, коли натиск молекул води з одного боку сильніший, ніж з іншого.

Та все ж смоктання повітря хоботом чи соломинкою має межі. Що більша різниця тиску між двома кінцями, то сильніший напір. Але найбільша різниця, яку можна досягнути під час смоктання, – це різниця між тиском атмосфери та нулем. Навіть з ідеальним поршневым насосом замість легень не вдасться напиться через вертикальну соломинку, довшу за 10,2 метра, бо наша атмосфера не може штовхати воду вище цієї позначки. Тому щоб повністю використати здатність молекул газу до штовхання речей, виникає потреба

змусити їх виконувати роботу при високих тисках. Атмосфера може чинити досить сильний тиск, але якщо інший газ нагрітий і подати під вищим тиском, то він штовхатиме ще сильніше. Якщо зібрати достатню кількість крихтих молекул газу, які вдаряються об щось достатньо часто й достатньо швидко, можна зрушити з місця навіть цивілізацію.

Паротяг – дракон, зроблений із заліза, шипляча, дихаюча, мускулиста потвора. Менше ніж сторіччя тому такі дракони були геть усюди, перевозили промислові товари та все те, чого потребувало суспільство, ну, звісно, розширювали виднокруги пасажирів. Були паротяги непривабливі, дуже гучні, до того ж сильно забруднювали довкілля, але попри те залишалися дуже гарними творіннями інженерної думки. Коли ті дракони зістарілися, їм не дозволили померти, бо світ просто не міг із ними розлучитися. Паротяги продовжували жити завдяки своїм прихильникам, ентузіастам і великим їхнім шанувальникам. Я виросла на півночі Англії, тому мої дитячі роки були наповнені історією промислової революції: переробними заводами, каналами, фабриками, а найбільше – парю. Тепер я живу в Лондоні, тому потроху все забулося. Але подорож із сестрою паровою залізницею Блюбелл про все те мені вмиль нагадала.

Був прохолодний зимовий день – чи не найліпший час для подорожі поїздом із паровою тягою, коли в кінцевому пункті на нас чекав гарячий чай і пшеничні коржики. На станції відправлення ми затрималися ненадовго, а прибувши до Шеффілд-Парку, коли зішли з потяга, умиль опинилися посеред неквапного, але досить настійливого гамору. Біля паровозів безперервно крмилися люди, одні глядачі змінювали інших. Вони здавалися крихтними створіннями порівняно з величавими залізними звірами. Людей, що мали стосунок до паротягів, легко було впізнати: сині комбінезони, кашкети, усі – в хорошому гуморі, дехто носив бороду, а коли хтось із них мав вільну хвилину і не займався паротягом, то обов'язково стояв на щось спершись. Як зауважила сестра, багато хто з них звався Дейвом. Краса парової машини полягає в тому, що принцип її дії фантастично простий, але вироблену такою машиною нестримну силу потрібно контролювати, спрямовувати й підтримувати. Парова машина та її обслуга – це одна команда.

Кінець ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию (<https://www.litres.ru/helen-cherski/burya-v-sklyanci-vodi-zahopliva-fizika-povsyakdannogo-zhitty/?lfrom=362673004>) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.

notes

Примечания

1

Приблизно 1450 кілометрів. (Тут і далі прим. перекл., якщо не зазначено інше.)

2

Приблизно 320 кілометрів.

3

Приблизно 1600 кілометрів.

4

Про абсолютну температуру йдеться у розділі 6. (Прим. авт.)

5

Таке перетворення тепер не вітається в науці. (Прим. авт.)

6

Ми не знаємо, скільки повітря вдалося Отто відкачати. Він не міг відкачати все, але, видно, йому таки вдалося відкачати хочну його частину. (Прим. авт.)

7

А також коли дихаємо. Повітря при кожному зробленому нами вдиху проникає в легені, тому що туди його штовхає атмосфера. (Прим. авт.)