

Як на небі, так і на землі

Аоки сер Ісаак Ньютон не записав закон всесвітнього тяжіння, ні в кого не було підстав вважати, що закони фізики в нас удома такі ж, як і скрізь у Всесвіті. На Землі відбувались речі земні, на небесах – небесні. Згідно з християнським віровченням тогочасної епохи, небеса були в руках Господа, що робило їх непізнаваними для нікчемних умів нас, смертних. Коли Ньютон подолав цей філософський бар'єр, показавши, що весь рух осяжний і передбачуваний, деякі богослови критикували його за те, що він не залишив нічого, чим у нашому світі міг би займатись Творець. Ньютон зрозумів, що сила тяжіння, яка змушує стиглі яблука в наших садах падати на землю, також скеровує рух кинутих об'єктів уздовж криволінійних траєкторій і направляє Місяць його орбітою навколо Землі. Закон тяжіння Ньютона також керує планетами,

астероїдами та кометами на їхніх навколосонячних орбітах та втримує сотні мільярдів зірок на орбіті в межах нашої галактики Чумацький Шлях.

Ця універсальність законів фізики штовхає наукове пізнання вперед як ніщо інше. І відкриття гравітації було тільки початком. Уявіть хвилювання, з яким астрономи XIX століття вперше спрямували на Сонце лабораторні призми, що розщеплюють світлові промені на спектр кольорів. Спектри не лише красиві, але й містять силу-силенну інформації про об'єкт, що випромінює світло, у тому числі про його температуру та склад. Хімічні елементи виявляють за відповідними унікальними послідовностями світлих і темних смуг, що перетинають спектр. На превеликий подив і здивування людей, хімічні сигнатури на Сонці виявилися тотожними лабораторним. Переставши бути інструментами самих лише хіміків, призми показали, що, якими б не були відмінності в розмірах, масі, температурі, розташуванні та зовнішньому вигляді Сонця та Землі, вони обоє містять однакові речовини: водень, вуглець, кисень, азот, кальцій, залізо і так далі. Та ще важливішим за цей перелік спільних інгредієнтів стало визнання того, що закони фізики, які визначають формування цих спектральних сигнатур на Сонці, є тими ж законами, що діють на Землі – на відстані майже ста п'ятдесяти мільйонів кілометрів.

Ця поняття про універсальність виявилось настільки плідним, що його успішно застосовували й у зворотному напрямку. Подальший аналіз сонячного спектра показав сигнатуру невідомого елемента, у якого не було жодного відомого відповідника на Землі. Виявлена на Сонці нова речовина отримала назву, похідну від грецького слова геліос («Сонце»), та лише пізніше була отримана в лабораторних умовах. Таким чином, гелій став першим і єдиним елементом в періодичній таблиці, котрий було відкрито не на Землі, а в якомусь іншому місці.

Гаразд, закони фізики працюють у всій Сонячній системі, але чи працюють вони у всій Галактиці? У всьому Всесвіті? Повсякчас, у минулому й майбутньому? Закони перевіряли крок за кроком. На сусідніх зорях також виявили знайомі хімічні елементи. Віддалені подвійні зірки, пов'язані силою тяжіння на орбітах навколо спільного центру мас, здається, знають все про закони гравітації Ньютона. З тієї ж причини так влаштовані й подвійні галактики.

І чим далі в космос ми заглядаємо, тим більш віддалений час ми спостерігаємо – це мов стратифіковані шари відкладень, які служать часовою шкалою земних подій для геологів. Спектри з найвіддаленіших об'єктів Всесвіту демонструють ті ж хімічні сигнатури, які ми бачимо у ближчих до нас просторі та часі. Щоправда,

тоді важкі елементи були менш розповсюдженими – вони формуються насамперед у наступних поколіннях зірок, що вибухають, – але закони, які описують атомні та молекулярні процеси, що стоять за цими спектральними сигнатурами, залишаються незмінними. Зокрема, величина, відома як стала тонкої структури, що визначає спектральні характеристики кожного елемента, мабуть, не змінювалася протягом мільярдів років.

Звісно, не у всіх речей та явищ у космосі є аналоги на Землі. Вам, напевно, ніколи не доводилось проходити крізь хмару розпеченої до мільярдів градусів плазми, і, ладен побитись об заклад, на вулицях вам ніколи не траплялася чорна діра. Головне – універсальність фізичних законів, що описують ці явища. Коли спектральний аналіз уперше застосували до світла, випромінюваного міжзоряними туманностями, було виявлено сигнатуру, що, знов-таки, не мала відповідників на Землі. На той момент у періодичній таблиці елементів не знаходилося місця для нового елемента. У відповідь астрофізики взяли назву «небулій»⁴ для тимчасового місцепозначача, поки не з'ясували насправді, що до чого. Як виявилось, газоподібні туманності в космосі настільки розріджені, що атоми в них можуть долати помітні відстані без зіткнень

⁴ Від латинського *nebula* («туманність»). – Прим. пер.

одне з одним. За цих умов електрони можуть поводитися всередині атомів у такий спосіб, якого раніше ніколи не спостерігали в лабораторіях Землі. Небулій був просто сигнатурою звичайного кисню, з яким відбувалися незвичайні речі.

Ця універсальність фізичних законів підказує нам: якщо ми потрапимо на іншу планету з розвинутою цивілізацією іншопланетян, у тих будуть працювати ті ж закони, які ми виявили та дослідили тут, на Землі – навіть якщо вони матимуть зовсім відмінні від наших соціальні та політичні переконання. Та якщо ви захочете поспілкуватися з чужинцями, то, тримаю парі, вони точно не знатимуть англійської, французької чи навіть китайської мови. Ви так само не можете знати напевне, чи рукоштовнання – якщо в них узагалі будуть кінцівки у формі рук – буде вважатися знаком миру чи актом війни. Тому краще всього буде знайти спосіб спілкування за допомогою мови науки.

Така спроба була здійснена в 1970-х роках на «Піонерах»-10 і -11 та «Вояджерах»-1 і -2. Усі чотири космічні апарати мали достатньо енергії, щоб за допомогою гравітації планет-гігантів вирватися за межі Сонячної системи.

На борту «Піонерів» було встановлено анодовані золотом пластини, що за допомогою наукових піктограм демонстрували схему нашої Со-

нячної системи, наше розташування в галактиці Чумацький Шлях та структуру атома водню. На «Вояджерах» пішли ще далі, включивши ще й золоту платівку з різноманітними звуками матінки-Землі, включаючи людське серцебиття, «пісні» китів та добірку музики з усього світу, включно з творами Бетховена та Чака Беррі. Хоча це «олюднило» послання, незрозуміло, чи іншопланетяни розумітимуть, що вони слухають (припускаючи, звісно, що в них є вуха). Моя улюблена пародія на це – гумористична сценка з передачі *Saturday Night Live* каналу *NBC*, що вийшла невдовзі після запуску «Вояджерів»: там показали «письмову відповідь» від іншопланетян, яким трапився наш космічний корабель. Вона складалась з одного лише прохання: «Надішліть ще Чака Беррі».

Розвитку науки сприяє не тільки універсальність фізичних законів, але й існування та незмінність фізичних констант. Гравітаційна стала, відома більшості вчених як «велика G », у ньютонівському рівнянні всесвітнього тяжіння слугує коефіцієнтом того, наскільки сильною буде гравітаційна взаємодія. Незмінність величини гравітаційної сталої протягом мільярдів років можна опосередковано піддати космічній перевірці. Якщо провести деякі обчислення, то можна визначити стійку залежність світності зір від G . Іншими словами, якби величина G в минулому була хоч трохи відмінною від поточної, то кількість

енергії, яку виділяє Сонце, змінювалася б набагато сильніше, ніж про те свідчать біологічні, кліматологічні чи геологічні дані.

Такою є універсальність нашого Всесвіту.



З усіх фізичних констант найвідомішою є швидкість світла. Незалежно від того, наскільки швидко ви рухаєтесь, вам ніколи не наздогнати промінь світла. Чому? Жоден експеримент з усіх проведених ніколи не виявляв якого-небудь об'єкту будь-якого роду, що досягав би швидкості світла. Добре перевірені закони фізики передбачають і пояснюють цей факт. Знаю, ці твердження можуть звучати закостеніло. Деякі зі зроблених «від імені науки» заяв найбільш твердолобих ретроградів у минулому справді раз по раз недооцінювали кмітливості винахідників та інженерів: «Ми ніколи не зможемо літати». «Польоти ніколи не будуть фінансово виправданими». «Ми ніколи не розщепимо атом». «Ми ніколи не подолаємо звуковий бар'єр». «Ми ніколи не ступимо на Місяць». Однак в усіх цих твердженнях є одна спільна риса: наведені в них досягнення не суперечать жодному встановленому закону фізики. А от твердження «Ми ніколи не випередимо швидкість світла» – це якісно інше передбачення. Воно впливає з основних, перевірених часом фізичних принципів. З усіма на те підставами на

дорожніх знаках для міжзоряних мандрівників майбутнього буде написано:

*Швидкість світла:
не просто гарна ідея – це закон*

На противагу обмеженням швидкості руху на земних дорогах, у законах фізики є та перевага, що вони не потребують правоохоронних органів для їх дотримання – утім, у мене колись була гівська футболка з написом «*OBEY GRAVITY*»⁵.

Усі вимірювання свідчать про те, що відомі фундаментальні константи та ті фізичні закони, в яких вони фігурують, не залежать ні від часу, ні від місця. Вони в буквальному сенсі сталі та універсальні величини.



У багатьох природних явищах проявляється одночасна дія багатьох фізичних законів. Цей факт часто ускладнює аналіз і в більшості випадків вимагає високошвидкісних обчислень на потужних комп'ютерах, щоб відстежувати важливі параметри відповідних систем. Коли в липні 1994 р. комета Шумейкерів-Леві 9 врізалася в газову атмосферу Юпітера та вибухнула там, найточніша

⁵ «ПАДКОРЮЙСЯ ГРАВІТАЦІЇ»; на футболці обігрується мем «OBEY», де фото борця Андре Руссімоффа із зображення дизайнера Шепарда Фейрі замінили на Ньютона. – Прим. пер.

комп'ютерна модель поєднала закони гідромеханіки, термодинаміки, кінематики та гравітації. Клімат і погода – ще одні яскраві приклади складних (і важко передбачуваних) явищ. Але основні закони, які лежать в їх основі, працюють так само. Велика Червона Пляма на Юпітері – бурхливий вихор-антициклон велетенських розмірів, який триває щонайменше 350 років – залежить від фізичних процесів, ідентичних тим, що спричиняють бурі на Землі та деінде у Сонячній системі.

Наступний клас універсальних істин – закони збереження: кількість деякої вимірюваної величини залишається незмінною за всіх обставин, незважаючи ні на що. Найважливішими з них є три закони: збереження маси та енергії; збереження імпульсу та кутового моменту імпульсу; збереження електричного заряду. Ці закони засвідчені і на Землі, і всюди, куди ми додумалися глянути – від царини фізики частинок до великомасштабної структури Всесвіту.

Та облишмо самовпевненість – не все так ідеально навіть у раю. Виявляється, ми не можемо побачити, помацати або покуштувати джерела 85% гравітації, зареєстрованої у Всесвіті. Ця таємнича темна матерія, що не проявляє себе ні в чому, за винятком хіба що її гравітаційного впливу на видиму матерію, може складатися з екзотичних частинок, які нам ще належить відкрити або ідентифікувати. Однак це звучить непере-

конливо для незначної меншості астрофізиків, які припускають, що темної матерії немає – слід лише внести деякі зміни до закону тяжіння Ньютона. Просто доповніть рівняння ще кількома доданками – і все зійдеться.

Може, одного дня ми дізнаємося, що закон всесвітнього тяжіння Ньютона і справді потребує уточнень. Нічого страшного. І таке відбудеться не вперше. Загальна теорія відносності Ейнштейна 1916 р. розширила принципи ньютонівської теорії гравітації так, щоб охопити й об'єкти надзвичайно великої маси. Ньютонів закон тяжіння дає збій у цій невідомій його авторові сфері. Урок з цього полягає в тому, що наша впевненість у певному законі обмежена низкою умов, у яких він перевіряється й підтверджується. Чим ширший діапазон цих умов, тим точнішим і потужнішим закон стає в описі космосу. Для звичних умов буденного тяжіння закон Ньютона працює просто чудово. Завдяки цьому в 1969 році ми потрапили на Місяць і благополучно повернулися на Землю. Але коли справа вже стосується чорних дір та великомасштабної структури Всесвіту, нам потрібна загальна теорія відносності. З іншого боку, якщо ви підставите в рівняння Ейнштейна малу масу та низьку швидкість, то вони буквально (чи радше математично) стають рівняннями Ньютона – цілком вагомий привід впевнитися, що ми розуміємо все те, на розуміння чого претендуємо.



Універсальність фізичних законів робить для науковця космос напрочуд простим місцем. Для порівняння, природа людини – царина психологів – незрівнянно складніша. В Америці місцеві шкільні ради голосують за те, які предмети слід викладати в класах. Нерідко голоси розподіляються відповідно до примх культурних, політичних або релігійних віянь. У різних куточках планети розбіжності в системах переконань і вірувань призводять до політичних суперечностей, які не завжди вирішуються мирно. У тому й полягають сила та краса фізичних законів, що вони виконуються скрізь, незалежно від того, чи ви волієте в них вірити.

Іншими словами, все є просто точкою зору, окрім законів фізики.

Не те, щоб науковці ніколи не сперечалися. Ми сперечаємося, ще й як. Але коли ми це робимо, то, як правило, висловлюємо свою точку зору щодо інтерпретації неповних або зовсім мізерних даних з дальніх обривів наших знань. А там, де в дискусії можна апелювати до будь-якого фізичного закону, дебати обіцяють бути короткими: ні, вічний двигун вашої конструкції ніколи не працюватиме – адже це порушує добре перевірені закони термодинаміки. Ні, ви не зможете створити машину часу, що дозволить повернутися в минуле і вбити власну матір до вашого народження – це

порушує закони причинності. І, навіть сидючи в позі лотоса, у вас не вийде спонтанно злєвітувати в повітря та зависнути над землею без того, щоб порушити закони збереження імпульсу.

Трапляється, що знання фізичних законів може стати в пригоді проти зарозумілих нахаб. Кілька років тому я вирішив хильнути перед сном гарячого какао в одному кафе в каліфорнійській Пасадені. Зі збитими вершками, звичайно. Та, коли принесли замовлення, я не побачив жодних слідів вершків. У відповідь на мою скаргу офіціант заявив, мовляв, я їх не бачу, бо вони потонули. Але ж збиті вершки мають низьку густину й плавають на поверхні всіх рідин, які ми споживаємо. Тому я представив офіціантові два можливих пояснення: або хтось забув додати до мого какао вершки, або в його закладі діяла якась альтернативна фізики, відмінна від універсальних законів в решті Всесвіту. Утім, це його не переконало, і він демонстративно приніс порцію вершків, щоб продемонструвати свою правоту. Трохи похитавшись, вершки піднялися на поверхню.

Які ще потрібні докази універсальності законів фізики?