

# ПРОБЛЕМА ВИПАДКОВОСТІ В СУЧАСНІЙ НАУЦІ

*Поняття про випадковість зародилося природним чином  
при перших спробах людини усвідомити своє буття.  
Термін «випадковість» тісно пов'язаний  
з питанням про свободу волі людини.  
Заперечення випадковості беззаперечно призводить  
до фаталізму та розуміння, що кожна подія у Всесвіті обумовлена,  
а наша свобода вибору – це лише ілюзія.  
Те, що станеться в наступний момент,  
не є абсолютно випадковим.  
Іншими словами, це можна передбачити.  
Не зі стовідсотковою ймовірністю, але щось обов'язково станеться.  
Наприклад те, що Сонце зійде на сході, а вода стане кригою,  
коли температура опуститься нижче 0 °C за нормального тиску.  
Ми це знаємо, бо існує обмежений набір фундаментальних частинок,  
і вони взаємодіють одна з одною за допомогою  
чотирьох фундаментальних сил, які нам відомі.*



**Максим Василенко**  
аспірант Інституту фізики  
НАН України,  
мол. наук. співроб.  
ГАО НАН України, м. Київ

## 1. Поняття необхідності і випадковості в філософії

Антонімом до *випадковості* є *необхідність*, а оскільки простіше довести те, що щось відбувається не випадково, а є причиною чогось, що йому передувало, то на мою думку, поняттю необхідності в філософії приділяється більше уваги, ніж розгляду випадковості. Терміном «*фатум*» позначається *невідворотність, неминучість* певного перебігу подій та людських вчинків. Або це синонім до лексеми «*доля*», що позначає історично першу (міфологічну в своїй основі) форму розуміння детермінованості людського буття. На відміну від інших форм такого розуміння (ідея промислу Божого в релігії, ідея необхідності в науці), доля осмислюється як така, що не піддається ані пізнанню, ані будь-якій зміні. Події, що передбачені долею, дають про себе знати впродовж життя і є сліпою необхідністю природи.

У давньогрецькій міфології були Мойри – богині долі. Зазвичай їх представляли як чорну невідворотну силу. За *Гомером*, це – три старі сестри, що плетуть нитки людської долі: *Лахесіс* – визначає долю людини ще до її народження; *Клото* – пряде нитку людського життя та передбачає події, які будуть відбуватися з людиною в період всього її життя; *Атропо* (невідворотна) – неухильно наближає майбутнє. Цю сестру представляли з книгою життя і ножицями в руці.

Вчення стоїків про людську свободу виключало всілякі уявлення про безпричинність тих подій, що відбувалися в людському світі. Воно логічно вело до припущення, що всі дії людини фатальні, визначені наперед, тому для творчості місця немає. Стоїки, сповідуючи фаталізм, передбачали необхідність такого розвитку, в рамках якого немає місця випадковості. Вони ставили проблему необхідності тільки стосовно до поведінки людини. І шукали не стільки свободи, скільки примирення з необхідністю. Можна тільки змиритися або не змиритися з цим. Але в обох випадках нічого змінити не можна. Мета людини – жити в гармонії з природою. Приймаючи доктрину стоїків в такому розумінні, людина, на мою думку, справді стає щасливою, оскільки їй не варто вже переживати за майбутнє, бо значно простіше звинуватити в своїх невдачах щось чи когось іншого, наприклад сестер Мойр.

Для європейської середньовічної культури характерні християнські уявлення про долю. У християнстві, як і в деяких інших монотеїстичних релігіях, присутня ідея Божого замислу, або *передвизначення*. Передвизначення виражає релігійне уявлення про Божу передвстановленість життя і поведінки людини. За твердженням християнського теолога *Августина*, людська воля має стільки сили, скільки того побажав і скільки про те знав наперед Господь. Католицькі і православні богослови дотримуються компромісної концепції: визнаючи і свободу волі людини, і передвизначення, вони зводять останнє до провидіння Богом того, як людина скористується наданою їй свободою. В ісламі, попри чітку установку на фаталізм, уявлення про передвизначення також поєднується з допущенням у певних межах свободи волі. Для сучасного богослов'я характерні модерністські тлумачення ідеї передвизначення.

Поступово церква втрачала вплив, і з розвитком науки і філософії з'являються нові погляди на свободу вибору. У новий час стає панівною точка зору на свободу як на природний стан людини. А ідея свободи вибору стає інструментом у досягненні соціальної рівності й справедливості. З розвитком точних наук, таких, як хімія і фізика, все очевиднішим стає зв'язок між процесами, тобто уявлення про причинно-наслідковий зв'язок. Будь-який причинно-наслідковий зв'язок є лише елементом у ланцюгу причин і наслідків. Через те, що він складається з причин і явищ, як би далеко ми не зазирали в часі назад чи вперед, ми будемо бачити тільки явища. Таке розуміння причинності мало б стати лозунгом «*позитивної науки*».

Німецький філософ **О. Шпенглер** спостерігав певні закономірності в поведінці соціальних груп. Він помітив, що культура, вичерпавши свої внутрішні творчі можливості, помирає і переходить у фазу, для якої характерні такі явища, як атеїзм і матеріалізм, агресивна експансія назовні, радикальний революціонізм, сцієнтизм і техніцизм, а також урбанізація. Але, на мою думку, це не є чимось немінучим і передвизначеним, а скоріше обумовлене якимись неявними закономірностями в психології соціуму як окремого організму і є явищем, яке повторюється не завжди, а просто має більшу долю ймовірності серед інших варіантів майбутнього.

## 2. Математичні уявлення про випадковість

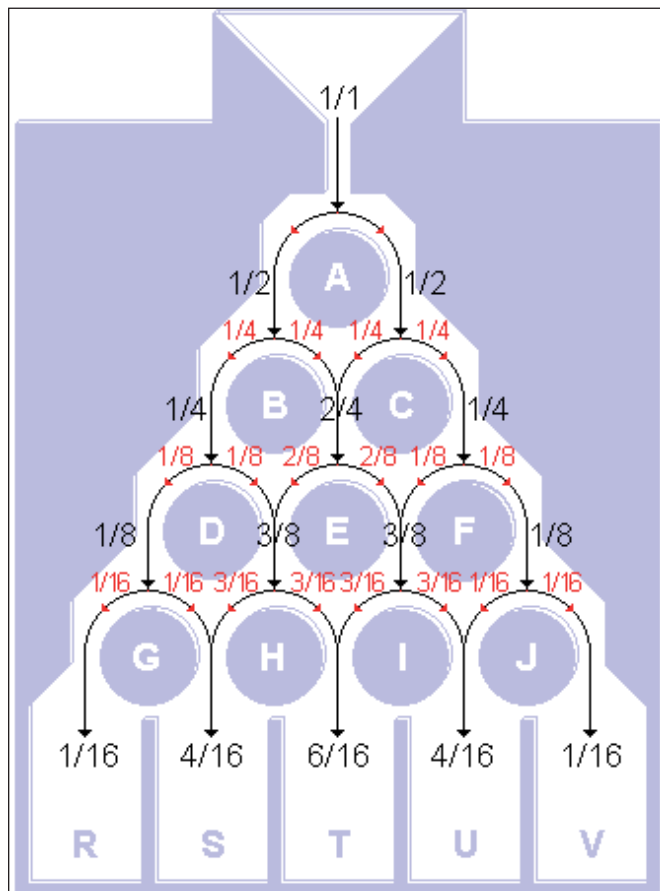
Говорячи про випадковість у математиці, ми маємо на увазі скоріше математичну інтерпретацію цього терміну. У математиці немає нічого випадкового, оскільки ми не можемо поставити математичний експеримент, результат якого неможливо було б отримати аналітичним чином. Математика як наука повністю детермінована і тому при проведенні визначених математичних операцій ми точно знаємо, що отримаємо. Наприклад виконуючи додавання «одного» до «двох», ми точно знаємо що отримаємо «три» без інших варіантів. Але, скажімо, при діленні будь-якого числа на нуль ми точно не можемо сказати, що вийде – не через те, що відповідь випадкова, а через те, що операція не має логічного змісту.

**Випадковість** – це філософська категорія для позначення тих феноменів дійсності (подій, процесів, об'єктів, властивостей), які суб'єкт сприймає (оцінює, інтерпретує) як буття, що має місце (або здійснилося), але якого «могло і не бути», тобто воно не є необхідністю. Під випадковістю розуміють те, що виникає внаслідок неповторного збігу обставин, унікальної комбінації багатьох невідомих (чи недоступних контролю або фіксації) чинників, як перетин причинно-наслідкових ланцюгів, вияв варіативності, неоднозначності дійсності.

У фізиці цей фактор визначає результат експерименту з множини можливих результатів, відомих заздалегідь. Тобто вважається, що експеримент має випадковий характер, якщо його кінцевий результат не може бути визначений апріорі з множини можливих варіантів на основі початкових умов.

**Ймовірність** – це числова характеристика можливості того, що випадкова подія відбудеться за умов, які можуть бути відтворені необмежену кількість разів. Ймовірність є основним поняттям розділу математики, що називається «*теорія ймовірностей*». Випадковою подією називається подія, результат якої не може бути відомий наперед. Навіть

у тому разі, коли насправді подія детермінована своїми передумовами, вплив цих передумов може бути настільки складним, що логічно й послідовно вивести з них наслідок, неможливо. Тобто це міра нашої впевненості в результаті спостереження.



**Рис 1. Умовна схема дошки Гальтона. Дробовими цифрами вказана ймовірність того, що окрема кулька опиниться в даному місці**

Сьогодні статистика стала дуже популярною наукою. Всі хочуть помічати в потоці даних ті закономірності, яких до цього не бачили інші, бо це дає можливість передбачати. Один із головних принципів статистики є те, що поодиноці здається безнадійно випадковим і непередбачуваним, разом перетворюється на щось прогнозоване, з чіткими законами. Прикладом такого явища є дошка Гальтона – пристрій, що призначався для наглядного демонстрування цього принципу (рис.1).

Всередині прозорої дошки Гальтона з рівними інтервалами розташовані ряди кілків. Кульки, що засипаються згори, скочуються вниз, випадковим чином відстрибуючи від кілків з рівною ймовірністю вліво або вправо на кожному з рядів, і в кінці розподіляються по відсіках однакової ширини.

Висота купки у відсіку показує, яка ймовірність того, що певна кулька опиниться саме тут. Загалом, це передбачуваний процес, оскільки ймовірність того, що кулька відстрибне приблизно однаково кількість разів як праворуч так і ліворуч більша, ніж те, що вона завжди буде відскакувати в один бік. Тому вони завжди розподіляються у формі дзвона, хоча спрогнозувати, де саме опиниться кожна з кульок, наперед неможливо. Такий розподіл називають «*гаусівським*» або «*розподілом випадкової величини*». Також можна побачити, що при використанні декількох

рядів найбільша ймовірність попадання кульки в центральний відсік (Т), хоча ймовірність знайти там кульку  $\frac{1}{4}$  і є меншою, ніж ймовірність знайти цю кульку в будь-якому іншому місці.

Остаточне розміщення кожної кульки визначається сумою багатьох випадкових подій. Так само багато явищ у світі – це результат великої кількості таких крихітних збігів, і тому вони також відповідають гаусівському розподілу. Таким чином, дошка Гальтона слугує для наглядної демонстрації центральної граничної теореми, яка формулюється так: *«сума деякої кількості незалежних і однаково розподілених випадкових величин зі скінченним розподілом буде прямувати до нормального розподілу зі збільшенням кількості цих величин».*

### 3. Випадковість з точки зору інформатики

Світ не теологічний. Те, що сталося, і те, що станеться, не обумовлене впливом якихось майбутніх цілей чи кінцевих причин, через які все відбувається. Також можна сказати, що світ не історичний, бо те, що станеться в майбутньому, обумовлене тільки необхідністю теперішнього і не потребує інформації про минуле. Уся історія минулого визначає теперішнє. Світ повністю зосереджений на поточному моменті.

Якби ми могли визначити точне положення і швидкість всіх цих частинок у даний момент, то ми б стали так званним «демоном» з гіпотетичного експерименту французького вченого-математика *П.-С. Лапласа*. Він уявляв це як великий комп'ютер, в який можна загнати дані і отримати результат розрахунку, який можна перевірити. Експеримент полягає ось у чому. Якби ми знали, де все знаходиться і з якою швидкістю рухається, то могли б визначити майбутнє всього Всесвіту, бо відали б, як кожна частинка рухається і взаємодіє одна з одною, тобто знали б фізичні закони. Все було б передбачено і нічого випадкового не існувало б. Навіть поведінка людей могла би бути передбаченою, оскільки люди складаються з тих самих частинок, що і все інше у Всесвіті. Все, що коли-небудь відбудеться чи вже відбулося, було б визначене з інформації про стан Всесвіту, взятого в певний момент. У фізиці такий стан називається *«початковими умовами системи»*. Звичайно, одночасно визначити всі ці параметри не можна, бо це обумовлено не тільки неможливістю перебування всюди одночасно, але й фізичними обмеженнями точності встановлення точних координат та імпульсів, тобто принципом невизначеності.

**Принцип невизначеності** – це фундаментальна засада квантової механіки, яка стверджує, що принципово не можна одночасно виміряти з довільною точністю координати й імпульси квантового об'єкта. Це твердження справедливе не лише щодо вимірювання, а й щодо теоретичної побудови квантового стану системи. Тобто неможливо побудувати такий квантовий стан, у якому система одночасно характеризувалася б точними значеннями координати та імпульсу, не кажучи вже про те, що для запису інформації про Всесвіт нам би знадобилося сховище, більше за весь Всесвіт. Тому цей експеримент і називається *«гіпотетичним»*. Лапласа цікавила не сама фізична можливість його проведення, а передбачуваність результату.

До терміну *«інформація»* слід ставитися з обережністю, оскільки цим терміном звикли позначати різні речі в різних контекстах. Говорячи про *«інформацію»*, ми маємо

на увазі всю інформацію про стан системи, яку розглядаємо, тобто таку інформацію, яка дає можливість відновити цю систему в конкретний момент часу.

За великим рахунком, інформація – це порядок значень певних величин. Наприклад, порядок молекул людини ДНК містить інформацію про її саму, або порядок нулів і одиниць на цифрових носіях містить інформацію про те, що на них написано. Порядок літер створює слова, а слова складаються в речення, які містять інформацію. Через це, на мою думку, можна сказати, що інформація – це і є порядок.

Але чи кожна літера в слові чи цифра в числі містить однаковий набір інформації? Ні. Навіть якщо в тексті з'являється помилка, інформація не втрачається, оскільки вона зберігається не в самих літерах, а в їх послідовності, яка не є випадковою, і наш мозок може відновити зв'язок між окремими словами і літерами без втрати інформації. Аналогічним чином ми можемо відформатувати і стиснути не тільки ту інформацію, яку містять літери, але й ту, яку містить будь-яку іншу впорядковану послідовність. Будь-які послідовності можуть бути стиснуті через те, що їх можна передбачити. Тому ми можемо стискати дані до тих пір, доки все, що ми будемо мати, буде абсолютно випадковим, і це буде в собі містити всю інформацію початкового об'єкта. Виходить, що сама інформація є її випадковістю. І якщо ми хочемо дізнатися, скільки певний об'єкт несе в собі інформації, то треба визначити, наскільки дані, які можна гіпотетично отримати з нього, є випадковими.

Випадковість це також безлад, хаос або те, що у фізиці називається *«ентропією»*. Виходить, що «чиста» інформація – хаотична. Це стає більш очевидним на прикладі послідовності чисел бінарної системи: 00000000... – така послідовність містить мало інформації і має низький рівень ентропії та може легко бути стисненою до запису кількості нулів у послідовності (саме так виглядає пусте місце на сучасних електронних носіях). Нулі не містять жодної інформації, окрім власної. Іншим прикладом може стати така послідовність: 101101101... . Ця послідовність має вищу ступінь ентропії і містить в собі більше інформації, але її також можна стиснути до кількості повторення комбінації 101. Тому послідовність, яка містить у собі максимальну кількість інформації, являє собою випадковий набір чисел бінарної системи.

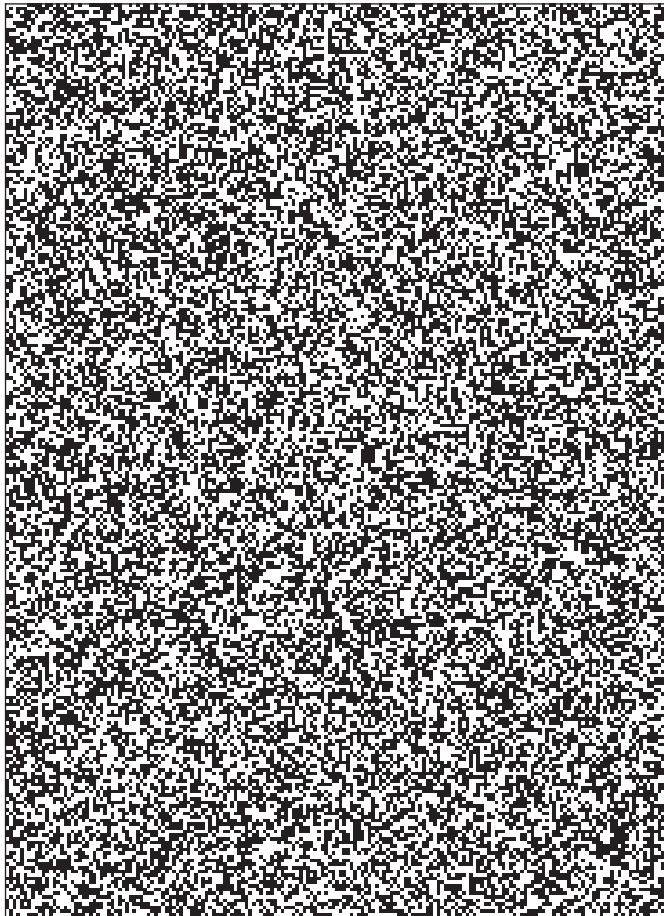
Але як собі уявити, що будь-що можна записати у формі одновимірної послідовності бінарних чисел? Відповідь на це запитання полягає в тому, що у багатовимірному Всесвіті межею будь-якого об'єкта є поверхня, розмірність якої на одиницю менша від розмірності самого об'єкта. Наприклад, межею куба є площина, межею площини – лінія, межею лінії – точка (сингулярність). Таким чином, інформацію про будь-який об'єкт, що існує в просторі більшої розмірності, можна подати у вигляді його проекції на простір, розмірність якого на одиницю менша. Наприклад, майстер, роблячи креслення тривимірної деталі, робить його у вигляді трьох проекцій на двовимірну площину.

Таким чином, інформація про будь-який об'єкт багатовимірного простору може повністю зберігатися в його проекції на простір меншої розмірності, доки значення останньої стане більшим або рівним одиниці, оскільки сингулярність не може містити в собі інформації, а її



ентропія є мінімальною. Таким чином, випадкова послідовність бінарних чисел являє собою систему, ентропія якої є максимальною, бо не можна наперед визначити, яке число буде наступним, посилаючись на попереднє значення. І якщо б ми захотіли надіслати таку інформацію, ми мали б переслати всі числа в строгій послідовності до останнього, бо її неможливо стиснути більше.

Але варто пам'ятати, що об'єкти, які містять у собі найбільшу кількість інформації, не несуть наукової цінності та інтересу. Наприклад, відео, що несе в собі найбільшу кількість інформації – білий шум, коли ми влаштуємо антену телевізора (рис. 2), чи звук радіо між частотами радіостанцій.



#### 4. Випадковість з точки зору сучасної фізики

Пошук сенсу, що заставляє нас шукати наукові теорії, і є метод стиснення Всесвіту. Наприклад, основне рівняння загальної теорії відносності *Айнштайна* виглядає так:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu},$$

Воно містить в собі опис того, як ми можемо передбачати події від падіння яблука до руху планет, зір, галактик і як весь Всесвіт продовжує розширюватися після Великого вибуху. Таким чином, майбутнє стає більш передбачуваним. Ми можемо передбачити затемнення Сонця на тисячі років наперед.

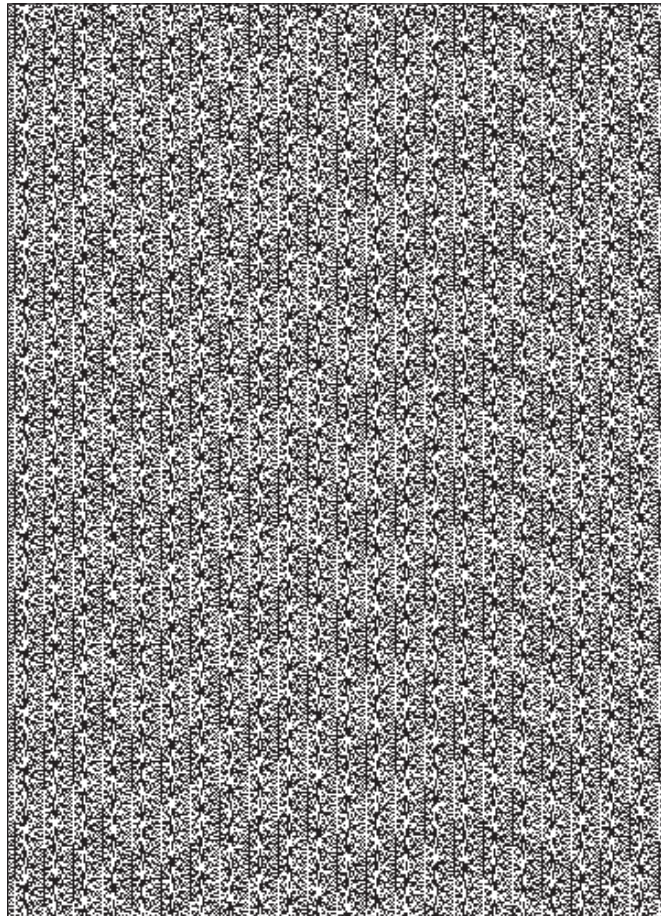


Рис. 2. Приклад білого шуму (зліва) і псевдовипадкового шуму (справа)

У білому шумі (ліве зображення) мало чого корисного, оскільки кольори пікселів не залежать один від одного і змінюються випадковим чином, тому такий набір даних не можна стиснути – він повністю випадковий. А от з псевдовипадкового шуму (праве зображення) ми можемо отримати певну корисну інформацію, оскільки випадкова послідовність атомів у молекулі ДНК не несе інформації про живий організм, а випадкова послідовність букв, як правило, не створює слово. Людей не цікавлять речі, які хоч і абсолютно ідеально побудовані, але не несуть інформації. Також їх не цікавлять речі, які абсолютно випадкові і несуть в собі максимум інформації. І тільки там, де можна знайти складні послідовності, можна шукати сенс, так само в музиці, поезії та ідеях.

Якщо припустити, що Лаплас був правий і можна дізнатися про початковий стан Всесвіту в даний момент, то ми будемо знати його стан в минулому і в майбутньому. Це значить, що кількість інформації у Всесвіті є постійною. Але якщо інформація – це ентропія, то ентропія також має бути постійною. А це не відповідає тому Всесвіту, в якому ми живемо, оскільки ентропія з часом зростає. У ізольованій системі ентропія залишається або незмінною, або зростає, досягаючи максимуму при встановленні термодинамічної рівноваги. Так впливає з другого закону термодинаміки. Іншими словами, само по собі нічого не рухається, але якщо ентропія росте, то й кількість інформації також збільшується. І це раціонально, оскільки для опису Всесвіту знадобилось би більше інформації, ніж для її опису одразу після Великого вибуху.

То звідки ж береться додаткова ентропія? На мою думку, вона береться з квантових флуктуацій, які описуються квантовою теорією. Квантова механіка описує механізм взаємодії частинок стандартної моделі. Але, незважаючи на її успіх і популярність, це тільки ймовірнісна теорія. Це значить, що передбачити, де буде частинка в певний момент в майбутньому, не можна. Ми можемо говорити тільки про ймовірні місця, де вона може знаходитись. Ми можемо визначити її місце й швидкість з точністю, обмеженою принципом невизначеності. Таким чином, ми отримуємо інформацію про цю частинку, тобто визначимо те, що могли передбачити або знати наперед зі стовідсотковою ймовірністю.

Але цей факт не подобався Айнштайну, і його знаменита фраза «*Бог не грає в кости*» описує спостереження в квантовій механіці. Він намагався стиснути теорію квантової механіки якомога сильніше, щоб ми могли точно знати, де з'явиться та чи інша частинка.

Може здатися, що ці квантові події настільки незначні, що не можуть впливати на майбутнє Всесвіту. Але це не так, оскільки існують фізичні системи, які перебувають у стані нестійкої рівноваги і дуже чутливі до початкових умов. У таких системах незначні збурення можуть спричинити великі зміни в майбутньому, цей ефект також відомий під назвою «*ефект метелика*».

Прикладом такої системи є погода. Передбачення погодних умов потребує великої кількості метеостанцій для визначення початкових умов системи, але навіть за таких умов передбачення погодних умов потребує розв'язання диференціальних рівнянь другого роду, які мають нестійкі розв'язки. Тому передбачити погоду на довгий період дуже важко, оскільки незначні зміни погодних умов швидко спричиняють зміни в усій системі.

Якщо щось не можна передбачити і не містить послідовності, яку можна розпізнати, ми називаємо це «*випадковим*». Класичним є випадок з підкидання монети чи грального кубика. Насправді це не експеримент з випадковим результатом, бо розподіл ймовірностей не є рівномірним, оскільки монета частіше падає донизу важчою стороною, а кубик має флуктуації густини і форми, які впливають на значення потенціальної енергії для кожної грані, і кубик буде падати частіше на ту грань, потенціально енергія якої менша. До того ж учені розробили алгоритм, який дозволяє з майже стовідсотковою ймовірністю передбачити, на який бік впаде об'єкт будь-якої форми. Тому по суті це не випадкові події, а вважаються такими тільки через відсутність інформації про початкові умови.

То чи існує щось таке, що неможливо передбачити, навіть маючи в розпорядженні всі дані? Для цього нам знадобиться такий процес, який не визначається нічим. Але як визначити, що цей процес не містить закономірностей, до розпізнавання яких ще не дійшов науковий прогрес, або не виявили їх, бо не змогли назбирати достатньо даних для репрезентативної вибірки? Сам процес пошуку чогось подібного ускладнюється ще й тим, що справжня випадковість іноді видає випадкові збіги. Справжню випадковість важко ідентифікувати, простіше довести те, що щось є закономірним.

Ми часто називаємо абсолютно передбачувані речі випадковими, наприклад зустріч зі своїм давнім приятелем в кіно. Зустріч і похід в кіно – це незалежні події, але те, що ми там зустріли приятеля, не є випадковістю, бо у нас з

ним спільні інтереси і вихідний в один день. Це не випадковість у математичному сенсі, оскільки ми обоє знали наперед місце і час сеансу і мали наміри туди піти ще до того, як це сталося. Така зустріч була передбачуваною, просто нам не вистачало інформації, щоб це передбачити.

Чому ж ми називаємо дивні, але передбачувані речі випадковими? На мою думку, це пов'язано з тим, що кількість інформації, з якою ми стикаємося щодня, постійно збільшується, і впізнати в цьому потоці інформації певні збіги стає дедалі простіше через збільшення кількості елементарних подій.

Якщо ми хочемо знайти справді хаотичну систему, то для цього нам знадобиться квантова механіка, яка описує поведінку квантових систем як набір можливостей і це не через те, що ми не маємо достатньо інформації, а через те, що немає інформації, яку ми можемо отримати завчасно. Айнштайн не міг повірити в це, але експерименти із заплутаними частинками показує порушення нерівностей Белла. Заплутані частинки – це ті, які мають протилежні параметри, навіть розділені на велику відстань. Якщо їх параметри задані наперед, то їх визначення має задовольняти цим нерівностям. Але результат експерименту вказує тільки на те, що результат вимірювання параметрів однієї частинки визначається тим, як ми виміряли іншу, а це значить, що шансу знайти частинку в певному стані не існує наперед і визначається тільки в момент її спостереження.

Існують фундаментальні константи, такі, як гравітаційна стала, швидкість світла, маса електрона і протона, стала Планка. Здається, що вони нічим не визначаються наперед і є абсолютно випадковими.

## Висновки

Ми живемо в світі, де не всі явища мають свою причину. Оскільки ми не можемо досягнути такої причини явища на фундаментальному рівні або існують фізичні обмеження на їх визначення, то для нас немає різниці, були ці явища спровоковані якимись причинами, які лежать за межами нашого розуміння, чи були абсолютно випадковими. Якщо не можна поставити навіть гіпотетичний експеримент для визначення закономірності в таких явищах, то їх доречно назвати випадковими.

Ми можемо передбачати майбутнє, знаючи початкові умови, але точність такого передбачення буде зменшуватися зі збільшенням часового інтервалу. Чим далі ми хочемо зазирнути у майбутнє, тим більша похибка такого передбачення. Ми приблизно знаємо, де будемо завтра зранку, але ми не можемо сказати, де ми будемо через двадцять років.

Важко зрозуміти, чи сукупність випадкових величин склалася таким чином, щоб ми могли існувати за якимось «замислом», чи ми просто живемо в одній із тих багатьох версій Всесвіту, де можливе виникнення стабільних структур і життя, і ставимо таке запитання тільки через те, що можемо і намагаємось його досягнути.

На вислів *Альберта Айнштайна* «*Бог не грає в кости*» *Стівен Хокінг* відповів: «*Бог не тільки грає з нами в кости, але іноді закидає їх туди, де ми не можемо їх побачити*». Можливо, існує певна космічна «цензура» і ми ніколи не дізнаємося відповіді на всі запитання, які нас цікавлять. У такому випадку чи треба наслідувати принцип стоїків і прийняти свою долю, змирившись з цим фактом? ■