

В природе существуют системы, в которых исход конкретной ситуации существенно зависит от измерения воздействия на входе и будущее поведение которых непредсказуемо для всех практических применений.

Принцип детерминизма — один из наиболее важных в современной науке. Он гласит: если мы знаем текущее состояние какой-либо системы в природе, мы можем применить наше знание законов природы для предсказания будущего поведения этой системы. Классическая ньютоновская «механическая» вселенная — в которой положение планет походило на движение стрелок многострелочных часов, а наше знание законов природы сводилось к пониманию устройства часового механизма — это наглядное представлением данной концепции.

В XX веке ученые пришли к пониманию того, что в природе имеются системы, полностью детерминистические в ньютоновском смысле, тем не менее их будущее с точки зрения практического применения не поддается расчетам. Появление быстродействующих электронных вычислительных машин в 1980-е годы привело к тому, что это явление, известное как детерминистический хаос, или *теория хаоса*, стало областью активных научных исследований. Лучшая аналогия детерминистического хаоса — так называемая «белая вода» горных потоков. Если вы бросите в эту воду горной реки два листика, один за другим, то ниже по течению они, вероятнее всего, окажутся далеко друг от друга. В системе, подобной этой, небольшое различие в начальных условиях (положение листиков) может привести к большому расхождению на выходе.

Большинство систем в природе не такие. Например, если вы уроните шар с высоты 5 метров и измерите его скорость при ударе о землю, а затем уроните этот же шар с высоты 5,0001 метра, то значения его скорости при ударе будут не очень отличаться. В системах, подобных этой, небольшие изменения начальных условий приводят к небольшим изменениям на выходе. Большинство известных нам систем в природе именно такого типа.

Но даже для таких простых систем, как классические ньютоновские бильярдные шары, иногда сложно делать предсказания об их состоянии в будущем. К примеру, стандартная задача для студентов-дипломников по физике — показать, что даже случай с бильярдным шаром, отскакивающим от бортов на совершенно ровном столе, в итоге растворяется в неопределенности вследствие неточностей в измерении угла, под которым шар приближается к борту в самом начале.

Однако система горного потока иная, и открытие детерминистического хаоса —

хорошая иллюстрация того, каким образом работают подобные системы. По современным стандартам, первые электронные вычислительные машины были очень медленными и имели очень маленькую память. В 1960-е годы Эдвард Лоренц (Edward Lorenz, р. 1917) и его коллеги в Массачусетском технологическом институте испытывали компьютерные модели климата Земли. Их компьютеры часто приходили к некоторому промежуточному состоянию в вычислениях, выводили эти промежуточные результаты на бумажную ленту в течение всей ночи и заканчивали вычисления на следующий день. Они стали замечать, что вычисления, выполнявшиеся непрерывно от начала до конца, приводили к результатам, которые значительно отличались от результатов прерывавшихся вычислений. Они обнаружили, что это расхождение происходит из-за того, что компьютер округлял числа в промежуточных результатах. Например, для записи на ленту он выдал бы число 0,506, а если бы продолжал работать, то 0,506127. Это различие было достаточным для того, чтобы привести в итоге к совершенно различным прогнозам будущих состояний климата. Теперь мы знаем о существовании систем, которые гораздо чувствительнее к начальным условиям и в которых различие в восьмом знаке после запятой оказывает значительное влияние на конечный результат. (В технических терминах хаотическая система определяется как система, в которой выход экспоненциально зависит от изменений на входе.)

Дело в том, что когда мы говорим об «определении» начального состояния, мы фактически говорим об измерении. Каждое измерение в реальном мире содержит ошибку — некоторую неточность в фактической величине. Например, если вы измеряете длину стола линейкой, на которой наименьшее деление — миллиметр, то в вашем определении неизбежно будет присутствовать ошибка в долю миллиметра. Аналогично, если в приведенном выше примере вы хотите определить положение листика в горном потоке, вы можете измерить расстояние между листиком и точкой на берегу. Всегда будет присутствовать небольшая погрешность в этом измерении, зависящая от точности используемого измерительного устройства. Если система хаотическая, вы можете много раз класть тот же самый листик, как вам кажется, на то же самое место и получать при этом различные результаты, поскольку вы никогда не сможете *точно* положить его на одно и то же место дважды.

Таким образом, для хаотических систем теоретически возможно предсказать будущий исход, но только в тех случаях, когда начальное состояние можно определить с абсолютной точностью. Поскольку такой точности достичь невозможно, эти системы для всех практических применений непредсказуемы. При этом важно понимать, что существование детерминистического хаоса не нарушает принципа детерминизма. Оно просто говорит, что при определенных обстоятельствах вы не сможете осуществить те виды измерений, которые вам нужны для определения текущего состояния системы с достаточной точностью в целях предсказания ее будущих состояний.

Иными словами, в хаотических системах имеется некоторое расхождение между детерминизмом (нашим пониманием законов, управляющих системой) и предсказанием (нашей способностью утверждать, что система будет делать). Это не значит, что такого расхождения не существовало в ньютоновской физике — мы видели, что оно есть. Это значит только, что до недавнего времени люди не уделяли ему должного внимания: вероятно, они понимали, что решение проблемы предсказания — это вопрос времени. Теория хаоса научила нас, что расхождение не только реально — оно существует постоянно. Теперь мы понимаем, что система может быть детерминистической и предсказуемой теоретически, в то же время оставаясь непредсказуемой на практике.

Не так давно некоторые ученые попытались применить теорию хаоса в других областях, включая такие, как расчеты орбит планет Солнечной системы на очень долгие промежутки времени и фондовая биржа. Некоторое время назад группа физиков покинула свои лаборатории, чтобы воспользоваться теорией хаоса для продажи советов относительно ценных бумаг, однако я еще не видел ни одного из них на «Мерседесе». По всей видимости, много работы еще предстоит сделать, чтобы воплотить теорию в практику.