**Законы непредсказуемости**

С. Панкратов

Жизнь – без начала и конца.

Нас всех подстерегает случай.

А.Блок

Классическая физика, манифестом которой стали знаменитые «Начала Ньютона», представляла мир как гигантский механизм, спроектированный по замыслу Всевышнего. Вселенная выглядела восхитительным автоматом, в котором не оставалось места случайности, и если случай все-таки время от времени подстерегал человека, то лишь вследствие его ошибок, нерадивости или невежественности.

Такой, в частности, была точка зрения выдающихся французских рационалистов XVII века, наиболее отчетливо выраженная в концепции «демона Лапласа» – гипотетического существа, которое способно с помощью законов Ньютона мгновенно вычислить траектории всех частичек мира и потому держит в руках абсолютно все связи между настоящим и будущим (а заодно и между прошлым и настоящим), или, как принято теперь говорить, причинно-следственные связи. Если Бог, с этой точки зрения, был Главным архитектором мира и Верховным законодателем природы, то лапласовский демон играл роль его «секретаря» – ведал обо всем и ничего не мог изменить.

Таким образом, рационалистический мир классической науки был абсолютно познаваем, и в принципе если бы всезнающий демон действительно существовал да еще кому-то удалось бы «втереться в доверие» к этому мифическому вычислителю, то можно было бы выведать у него все будущие и прошлые состояния нашего мира. Азартные игры, счастливые случайности и футбольные чемпионаты немедленно перестали бы существовать, такие науки, как футурология или описательная, регистрирующая история, отпали бы за ненадобностью, ну а гадалкам, астрологам, «биолокаторам» и «сверхперцепиентам» тем более нечего было бы делать.

Правда, человеческий опыт то и дело демонстрировал – иной раз болезненно и жестоко, – что природе скорее свойственны непредсказуемые причуды, нежели поведение раз и навсегда заведенного автомата. Капризы погоды, неожиданные социальные потрясения, внезапные экономические коллапсы – все это наблюдало большое число людей, и наблюдения отнюдь не свидетельствовали в пользу лапласовского детерминизма – жесткой предопределенности событий. Можно, однако, сказать, что философский детерминизм – это лишь теоретическая возможность, она не обязана сама собой реализоваться без наших усилий, да еще в крошечном, доступном наблюдению кусочке всего гигантского механизма Вселенной. Вот если бы, скажем, досконально знать распределение масс в игральной кости, да силы, которые на нее действуют со стороны всех на свете частиц, да начальное положение и скорость кости, которые определяются бросающей ее рукой, да проинтегрировать уравнение движения кости на мощном компьютере – вот тогда, возможно, и не нужно было бы использовать классическую схему теории вероятностей для вычисления шансов на благоприятный исход при игре в кости. Зачем говорить о случайности, если все можно вычислить?

Можно ли? В последнее время физики и математики стали в этом сомневаться. Оказалось, что даже очень простые физические объекты, например, пара шаров на бильярдном столе обнаруживает случайное поведение, и даже если собрать и обработать огромное количество информации, от случайности нельзя избавиться. Непредсказуемость принципиальна.

Заметьте, здесь речь идет о простых классических – неквантовых – системах. В квантовой механике случайность присутствует с самого начала – это отправная точка теории, а не факт, подлежащий объяснению. Именно вероятностный характер квантово-механических предсказаний, которые тем не менее замечательным образом оправдывались, нанес, пожалуй, самый сокрушительный удар по детерминизму Лапласа. Эйнштейн, в частности, так до конца жизни и не принял, по-видимому, квантовую механику. «Настоящее колдовское исчисление» – назвал он однажды эту вероятностную теорию. Известно и другое его высказывание: «Бог не играет в кости». Неужели же сегодня привычная со школьных лет классическая механика, допуская непредсказуемость, тоже превращается в «колдовскую» науку? Сохраняются ли в ней правила, в соответствии с которыми будущее определяется настоящим, а настоящее – прошлым?

Ответ: да, такие правила существуют – это уравнения эволюции или динамические уравнения (в частности, ньютоновы законы движения). И все же поведение многих физических объектов, описываемых такими уравнениями, – динамических систем – через какое-то время становится совершенно непредсказуемым. Например, атмосфера – типичная динамическая система, ее эволюция жестко задана известными уравнениями, однако предвидеть ее состояние через месяц – то есть сделать безошибочный прогноз погоды на месяц вперед – практически невозможно, какой бы мощный суперкомпьютер ни был в нашем распоряжении. Прогноз погоды может быть только вероятностным, а парадоксальную, порождаемую известными динамическими уравнениями – жестким алгоритмом поведения, – случайность с недавних пор стали называть детерминированным хаосом.

Вообще сегодня в физике рассматривается случайность двух типов (речь сейчас не идет о квантовой неопределенности).

Первый тип случайности возникает тогда, когда частиц, степеней свободы, событий или предметов так много, что во всем этом совершенно невозможно разобраться. Например, газ в литровой банке содержит примерно 1022 молекул, и ни одной ЭВМ не под силу рассчитать траектории такого числа сталкивающихся друг с другом частиц. Но даже если бы с помощью какого-нибудь фантастического суперкомпьютера и удалось бы проинтегрировать все «зацепляющиеся» уравнения движения в общем виде, то совершенно невозможно было бы подставить в решение уравнений конкретные начальные условия – координаты и скорости всех 1022 молекул в некоторый выбранный нами момент, хотя бы из-за необходимых для этого времени и бумаги. Именно поэтому для описания «больших» – макроскопических – систем физики используют усредненные статистические или термодинамические характеристики, такие, как температура, давление, свободная энергия, и некоторые другие.

Другой тип случайности сегодня ассоциируется с именем выдающегося французского математика Анри Пуанкаре, который, по-видимому, был первым, кто предвосхитил современный взгляд на хаос, обратив внимание на чрезвычайную «чуткость» неустойчивых динамических систем – сколь угодно малые неопределенности в их состоянии усиливаются со временем, и предсказания будущего становятся невозможными.

Статистические системы преимущественно основаны на классической схеме теории вероятностей, и чтобы найти интересующие нас вероятности, нужно проделать простые комбинаторные вычисления. Скажем, вероятность падения симметричной монеты какой-то одной стороной кверху равно 1/2 (просто из соображений симметрии). Вероятность рождения мальчика, как показывает опыт, несколько больше 1/2 и по каким-то загадочным причинам способна претерпевать внезапные скачки, сопряженные с глобальными изменениями условий жизни, например, после войн и эпидемий. А вообще пол человека – лишь один из многих генетических признаков, распределение вероятностей которых изучает математическая генетика. Вероятность угадать сколько-нибудь видов спорта при игре в «Спортлото» дается так называемым гипергеометрическим распределением (по существу, отношением чисел сочетаний разных номеров на карточке). Например, вероятность угадать все шесть видов спорта равна (С649)–1 ≈ 7,15·10–8. Математический аппарат молекулярной физики несколько сложнее, он основан на изучении так называемых кинетических уравнений. Интересно, что в 60-х годах кинетическая теория была с успехом применена к описанию коллективного движения автомобилей на автострадах, и сделал эту попытку бельгийский ученый русского происхождения, лауреат Нобелевской премии ИльяПригожин. В классической схеме случайного поведения существует еще одна группа задач – задачи, связанные с описанием броуновского движения и диффузии, их обычно объединяют термином «случайное блуждание». В 1827 году английский ботаник Роберт Броун, наблюдая в микроскоп за плавающей в воде цветочной пыльцой, обнаружил поразительное явление: частички пыльцы вели себя как живые. Они непрестанно двигались, описывая причудливые ломаные траектории (напоминающие непредсказуемое метание летающей под потолком мухи). Беспорядочное движение частичек ни на секунду не прекращалось, и тогда у Броуна возникла мысль: может быть, пыльца – ведь это органическая материя – состоит из мельчайших живых существ, некоторых «первичных» организмов? Но это предположение Броуна очень скоро пришлось отвергнуть: и неорганические микроскопические частички вели себя в жидкости столь же активно, причем их движение происходило тем энергичнее, чем меньше были частицы.

До начала XX столетия опыты Броуна не привлекали к себе внимания ученых, и полная теория броуновского движения была построена лишь в 1905...1906 годах Эйнштейном, а также польским физиком Марианом Смолуховским. Опыты Броуна, по существу, были первыми наблюдениями теплового движения молекул. Именно молекулы, непрерывно и беспорядочно перемещаясь, налетали на взвешенную в воде частицу, и под их нескомпенсированными ударами – флуктуациями давления – частица «оживала».

Главная, принципиальная черта теплового молекулярного движения – его флуктуационный характер. Перемещения частиц абсолютно случайны, и даже для макроскопических проявлений теплового движения случайность никогда не исчезает, хотя и становится менее выраженной. Это – отражение того же закона, который составляет суть второго начала термодинамики.

Если наблюдать за броуновской частичкой достаточно долго, чтобы силы, действующие на нее со стороны молекул, много раз меняли направление, то мы увидим, как происходит диффузия. Так что между, скажем, диффузионным распространением света в тумане, прохождением нейтронов через защитный экран, броуновским движением и «шумом», мешающим работе со сверхчувствительными приборами, очень много общего, и все эти процессы изучаются очень похожими математическими средствами. Модель случайного блуждания обладает большой общностью: например, с ее помощью можно вычислить процессы рождения и гибели в биологической популяции или определить равновесную – установившуюся длину очереди за каким-либо товаром.

Представление о случайности другого типа, связанной с неустойчивостью динамических систем, может дать один из рассказов американского писателя-фантаста Рэя Брэдбери (этот пример привел крупный советский математик, специалист по математическим проблемам статистической физики Я.Г.Синай). В рассказе Брэдбери описывается, как в XXI веке люди научились путешествовать во времени. И вот однажды группа молодых людей отправилась в мезозойскую эру (как будто бы в пригороды Нью-Йорка!) поохотиться на динозавров. При этом путешественники должны были строго соблюдать лишь одно правило: им запрещалось сходить с особой тропы, проложенной как бы в другом измерении и потому не влияющей на эволюцию нашего мира. Но испугавшись чудовищного ящера, один из охотников нечаянно соскользнул с тропы, раздавив при этом бабочку. Когда испуганные путешественники вернулись домой в свое время, они с изумлением обнаружили, что в их стране существует совершенно другой политический режим, принята иная орфография и вообще происходит что-то такое, что они никак не могли бы предвидеть. Ничтожно малое по мировым масштабам изменение начальных данных – смерть бабочки – привело к непредсказуемым последствиям. Близкие траектории двух версий эволюционирующего мира разошлись так сильно, что ситуация стала непрогнозируемой.

В современной физике существует уже довольно много красивых примеров перехода к непредсказуемому поведению – хаосу. Многие сценарии возникновения хаоса изучаются уже не только физиками и математиками, но и химиками, биологами, экологами. Например, непредсказуемые колебания численности рыб или насекомых, скажем, комаров, могут быть следствием хаотического поведения соответствующих динамических – эволюционирующих – систем. Не менее интересны и обратные переходы – от хаоса к порядку. Самый типичный пример такого перехода – лазер: начиная с некоторого «порога» возбуждения, он генерирует упорядоченное – когерентное – световое поле. Другие яркие примеры возникновения порядка (помимо уже упоминавшихся в статье « Вездесущие неустойчивости» ячеек Бенара) – это химические колебания и биологический морфогенез. Морфогенез, то есть образование пространственно-временной структуры в совершенно однородной среде, – одна из самых удивительных загадок, которые ставит перед физиками и математиками биологическая материя. Как возникают правильные узоры на крыльях бабочек или регулярные полосы на тигриной шкуре? Может быть, теория образования порядка из хаоса скоро поможет нам ответить на эти «детские» вопросы.

А пока такую теорию (ее часто называют синергетикой) старательно и, по-видимому, без особого успеха пытаются применить к изучению коллективного поведения людей – в экономике, социологии, социальной психологии. В общем, исследователи считают, что хаос – это фундаментальное свойство природы, ну а мы, учитывая это обстоятельство, должны быть более снисходительными к прогнозам погоды.

**Список литературы**

«Наука и жизнь»: №11, 85; №1, 87; №3, 88.