Реферат

по философии

«Хаос, случайность и механистическая картина мира»

Едва ли найдется философ — об ученых-естествоиспытателях мы даже и не говорим, — который взялся бы поспорить с тем, что знания, добытые физикой и другими естественными науками, являются неотъемлемой частью создаваемой человечеством картины мира. На наш теперешний образ мышления глубокое влияние оказали научные революции, потрясшие самые основы физики. Наша убежденность в том, что все процессы в природе протекают в соответствии со строгими, «железными» законами, возникла и укрепилась только благодаря законам физики, получившим тысячекратное доказательство.

Немалый вклад в это был внесен механикой, расцвет которой пришелся на девятнадцатый век. Механика занимается изучением движения отдельных тел и действующих между этими телами сил. Фундаментальное открытие, сделанное Ньютоном, касалось того, что падение яблока с дерева и движение Земли и других планет по их орбитам вокруг Солнца суть проявление одного и того же закона. Законы, открытые Ньютоном, легли в основу ракетостроения и стали, таким образом, основой для покорения человечеством космического пространства. Прямо на экранах телевизоров мы можем наблюдать, как ракеты устремляются к Луне по точно рассчитанным траекториям. Соблюдение такой траектории, заранее рассчитанной и потому предсказуемой, заключает в себе, однако, и нечто для человека гнетущее и даже жуткое. Если некая последовательность различных событий жестко предопределена, мы оказываемся всего лишь лишенной собственной воли частичкой колоссального механизма. Даже случайности здесь не остается места — ведь предопределено абсолютно все. Далеко идущие философские последствия такого видения мира обсуждались уже не единожды, и представить их себе не сложно. В двадцатые годы благодаря появлению квантовой теории в мировоззрении произошел головокружительный переворот, и возрожденная случайность вернулась в наш мир. Вернемся ненадолго к процессам, протекающим в лампе и лазере: возбуждая отдельный электрон в атоме, мы наделяем его большей энергией, чем он обладает в своем обычном, невозбужденном, состоянии, и электрон, стремясь избавиться от этой дополнительной энергии, излучает ее в виде световой волны. При этом абсолютно невозможно — в рамках квантовой теории — предсказать, в какой именно момент времени электрон испустит световой импульс. Это очень похоже на игру в кости: никогда нельзя предсказать точно, какое именно число будет выброшено.

Судя по всему, что мы сегодня знаем о событиях, происходящих в микромире — невидимом нам мире атомов, — тамошние процессы подвластны исключительно случайности. Все попытки пустить здесь в ход представления, связанные с механистической картиной мира, провалились, так как вступали в явное противоречие с экспериментальными данными. Случайность же — как полная и абсолютная непредсказуемость — резко противоречит представлению о раз и навсегда заданном ходе вещей.

В семидесятых-восьмидесятых годах многие ученые были буквально ошеломлены сообщениями о том, что в природе возможны события, обладающие в некотором роде двойственным характером. С одной стороны, эти события подчиняются законам, не менее «железным», чем законы механики, или даже самим законам механики. С другой же стороны, такие события не чужды случайности и непредсказуемости. Для обозначения совершенно новой группы явлений было выбрано слово «хаос».

Слово это хорошо знакомо нам из повседневной жизни. Достаточно вспомнить хотя бы о всем известном хаосе дорожного движении, о безнадежной неразберихе, царящей на магистралях, забитых вереницами машин. Эта картина — воплощение самой сути слова «хаос» в том смысле, в котором оно используется сегодня учеными. Каждая из машин, участвующих в этой сутолоке, оказывается на своем месте в полном соответствии со строгими законами механики, и все же наблюдателю это зрелище представляется совершеннейшей путаницей, хаосом, в котором положение отдельных машин выглядит следствием случайного распределения: огромный грузовик рядом с синим легковым автомобильчиком, наперерез им вылетает красная машина, за ними мотоцикл и т. д.

Возможно, еще более драматический взгляд на хаос и порядок выражен знаменитым художником М. Эшером в картине, которая так и называется — «Хаос и порядок». В центр картины помещен кристалл абсолютно правильной формы, а пространство вокруг этого кристалла заполнено каким-то мусором вроде черепков, осколков, пустых консервных банок и прочего в этом роде. Кристалл со всей очевидностью воплощает собой порядок, мусор же вокруг символизирует хаос. В данном случае хаос статичен — в противоположность определяемым нами как хаос явлениям природы, пребывающей в вечном движении. Вообще, слово «хаос» рекомендуется употреблять со всей осмотрительностью: даже в науке хаос хаосу рознь. Во-первых, здесь существует уже давно известный «микроскопический хаос». С этим понятием читатель уже неоднократно сталкивался — например при описании нами света обычной лампы или неупорядоченного движения отдельных молекул газа. Новым может оказаться понятие о «детерминированном хаосе», называемом также коротко просто «хаос», в связи с чем может возникать — и часто возникает — множество недоразумений.

Детермированный хаос, который поначалу рассматривался всего лишь как случайно проявляющаяся странность, сегодня предстает перед нами как стереотип поведения многих систем, исследуемых синергетикой. Вспомним несколько уже упоминавшихся примеров.

При движении нагреваемой снизу жидкости — в зависимости от температуры горизонтального слоя — возникают совершенно различные конфигурации. По прошествии нескольких этапов, на которых образуются упорядоченные структуры, в жидкости начинается совершенно беспорядочное движение: она, как говорят специалисты, становится турбулентной. Сегодня мы с полным правом можем предположить, что вихри, возникающие при этом в жидкости, подчиняются законам хаотической динамики.

Аналогичную картину можно наблюдать, следя за кольцами табачного дыма. В воздухе они деформируются, и в конце концов наступает момент, когда дым движется уже совершенно хаотично — движение становится турбулентным. При определенных химических реакциях возникают пространственные или временные макроскопические структуры — например периодические переходы от синего цвета к красному и т. д.

Химики и раньше имели возможность наблюдать подобные переходы от красного к синему, происходящие через весьма неравные промежутки времени; наблюдаемую нерегулярность переходов было принято относить на счет недостаточно тщательно подготовленных реагентов, и это объяснение скрыло за собой вполне очевидную истину. Теперь, после того как феномен, обозначаемый как «хаос», стал общепризнан, химики состязаются в получении и опубликовании новых результатов исследования временных и пространственных структур, возникающих в ходе такого рода реакций. Кроме того, появляются предсказания относительно возможной турбулентности лазерного света. Волновые цуги, испускаемые лазером, абсолютно хаотичны, но характер этой хаотичности оказывается совершенно иным, нежели в свете обычной лампы: своего первооткрывателя ждет новый тип света.

Идея хаоса не обошла стороной и биологию и сделала понятными прежде необъяснимые явления, осветив их подобно вспышке. Например, существуют популяции насекомых, численность которых из года в год совершенно неравномерно колеблется. Теперь созданы модели, с помощью которых эти колебания можно стало обработать математически.

Относительно всех этих феноменов, которые большинству людей представляются на первый взгляд чем-то доселе невиданным, можно привести цитату из Ветхого Завета: «Нет ничего нового под солнцем».

Действительно, уже на рубеже девятнадцатого и двадцатого веков французский математик Жюль Анри Пуанкаре, занимаясь вычислениями в области небесной механики, открыл возможность хаотического движения. Изучая модель звездной системы, имеющей два солнца и всего одну планету, Пуанкаре обнаружил, что такая планета может двигаться по немыслимо сложной траектории, в чем-то схожей с траекторией футбольного мяча, ускоряющегося от случайных ударов. Здесь мы сталкиваемся с дилеммой, вечно стоящей перед наукой. Движение планеты происходит согласно как нельзя более строгим законам механики, однако выглядит при этом совершенно хаотичным.

Пример с планетой, вращающейся вокруг двух солнц, показывает нам, что даже очень простая механическая система может оказаться способна на весьма сложное движение.

Прежде движение планет в Солнечной системе по вечным и неизменным эллиптическим орбитам вокруг Солнца — в полном соответствии с законами ньютоновской механики — воспринималось как нечто само собой разумеющееся; теперь, в свете современных представлений, подобная стабильность кажется уже загадочной. Многие великие ученые занимались этой проблемой, пытаясь ответить на вопрос, поставленный в девятнадцатом веке королем Швеции: «Является ли наша Солнечная система устойчивой? возможно ли, к примеру, что некоторые планеты в конце концов столкнутся с Солнцем, а остальные окажутся выброшенными, извергнутыми из системы?» Речь, как мы видим, идет о процессах, имеющих непосредственное отношение к закону сохранения энергии и импульса в механике.

Ответ на этот вопрос, найденный современной математикой, до того деликатен и связан с такими тонкостями, касающимися периода обращения планет, что иногда с трудом верится в его окончательную истинность. И все же если эта теория соответствует действительности, то мы получаем возможность объяснить такой феномен, как кольца Сатурна. До сих пор предполагалось, что кольца Сатурна, состоящие, по всей видимости, из ледяных глыб, имеют структуру концентрических кругов, что подтверждалось астрономическими наблюдениями. Неясной оставалась лишь природа существующих между кольцами пустот.

Почему эти пустоты не заполнены льдом? Ответ математиков, занимающихся движением небесных тел, гласит: под воздействием лун Сатурна глыбы льда были вынуждены перейти на хаотические орбиты, а потому покинуть эти участки пространства. Насколько это утверждение соответствует истине, пока не ясно. Кроме того, снимки, сделанные американскими исследовательскими зондами с близкого расстояния, показывают, что мы имеем дело с еще более тонкими структурами, чем предполагалось. Как выясняется, кольца Сатурна напоминают изрезанную бороздками грампластинку, а считавшиеся прежде полыми участки пространства оказываются пронизаны чем-то вроде спиц. Словом, многое здесь продолжает оставаться загадкой.

Строго говоря, ответ на вопрос о том, каким образом происходит переход к хаотическому движению, возможен только в рамках математики — но даже и он становится всего лишь началом пути, ведущего к постижению природы хаоса.

Тем не менее, мы можем очень легко продемонстрировать, как именно удается случайности прокрасться в строго предопределенное движение.

Рис. 1. Стальной шарик, падающий на лезвие бритвы

Представим себе установленное вертикально бритвенное лезвие, на которое сверху падает стальной шарик. Справа или слева от лезвия упадет шарик, зависит от того, какой точкой своей поверхности он столкнется с лезвием; при этом исход дела решают мизерные доли миллиметра. Чуть левее от центра — и шарик отклоняется вправо, чуть правее — отклоняется, соответственно, влево. Совершенно очевидно, что весь процесс строго предопределен, но несмотря на предопределенность, ему все же присуща некоторая случайность. Это происходит потому, что мы в принципе не можем абсолютно точно предопределить или замерить начальное положение шарика. Однако именно малейшие сдвиги от первоначального положения шарика определяют в конечном счете его траекторию. Совершенно то же происходит при игре в кости. Кубик, конечно, обязательно упадет на стол — но то, которой из граней он коснется поверхности, с точно такой же степенью чувствительности зависит от начальных условии, как и в случае с шариком, падающим на лезвие.

Мы видим, как начинает размываться грань, разделяющая случайные и строго предопределенные события, хотя пограничные случаи в философском смысле могут быть четко определены и для тех, и для других событий, да и существовать-то должны, собственно, только такие «пограничные случаи». Решающим является тот факт, что малейшая неточность в начальном положении оказывает впоследствии воздействие на весь дальнейший ход макроскопических событий.

Порой практики, изобретатели и просто любители сотворить что-нибудь собственными руками оказываются проницательнее любого ученого. Уже долгое время существует целая индустрия азартных игр, использующая автоматы, созданные на основе принципа подражания случайности, поразительно удачно воплощаемого в строго предопределенных механических процессах. Допустим, такая машина воспроизводит падение шарика на лезвие; при каждом новом броске траектория шарика остается для игрока непредсказуемой. Исход такой игры — дело случая, игра наудачу, однако при этом каждый этап игры вполне однозначно определен. Пример одного из довольно известных игровых автоматов такого типа представлен на Рис. 2.

Рис. 2. Пример одного из игровых автоматов: где окончит свой путь шарик?

В фантастических романах иногда описываются события, происходящие с человеком, перемещенным в будущее или в прошлое. Предположим, что герой одного из таких романов, снабженный всем необходимым, перенесен автором в машине времени на сто тысяч лет назад. Теперь он должен сориентироваться при помощи компаса. Ему холодно, и потому он хотел бы отправиться на юг, взяв направление по компасу. Однако чем дальше он забирается в направлении, указанном компасом, тем холоднее ему становится; наконец в нем зарождается подозрение, что он движется вовсе не на юг, а на север. Компас указывает ему неверное направление! Так как компас показывает направление в соответствии с направлением линий напряженности магнитного поля Земли, мы вынуждены заключить, что изменилось магнитное поле.

Естественно, мы не можем никого отправить в прошлое на машине времени; однако Природа — иным способом, конечно, — все же дает нам возможность узнать о прошлом Земли. В Гренландии были обнаружены геологические формации, обладающие магнитными свойствами. В отдельных пластах горных пород элементарные «магнитики» оказались когда-то сориентированы в направлении, совпадающем с теперешним направлением магнитного поля Земли, а затем в некотором смысле «застыли» в этом положении и пребывают в нем до сих пор. Наблюдаемое осаждение горной породы позволяет сделать оценку ее возраста; от пласта к пласту направление намагниченности изменяется, и отсюда геологи могут сделать выводы о том, что направление магнитного поля Земли в течение миллионов лет время от времени менялось, однако без какой бы то ни было периодичности, т. е. совершенно не регулярно. Новейшие теории также разрабатывают возможность хаотической смены Землей местоположения своих магнитных полюсов.

Хаос в синергетике

Синергетика — это учение о взаимодействии, причем речь постоянно идет о взаимодействии множества элементов в рамках единой системы. Однако в примере о движении планеты, вращающейся в системе двух звезд, мы имели дело всего с тремя телами. Кроме того, у читателя вообще могло создаться впечатление, что взаимодействие множества отдельных систем всегда ведет к возникновению упорядоченных структур или процессов. Эти моменты требуют гораздо более подробного рассмотрения, и в особенности потому, что полученные в ходе такого рассмотрения выводы мы впоследствии сможем использовать и в других областях — например при обсуждении процессов, протекающих в экономической сфере.

Связь с синергетикой станет ясна, как только мы обратимся к понятию «параметр порядка». Ранее на ряде примеров было показано, что синергетическая система часто может управляться не одним-единственным, а сразу несколькими параметрами порядка. Скажем, возникновение в жидкости гексагональных ячеистых структур возможно лишь в результате сотрудничества трех различных параметров порядка: все они представлены волнами, образующими равносторонние треугольники. В других случаях — допустим, в ходе эволюции — различные параметры порядка могут уже не сотрудничать друг с другом, а напротив, конкурировать. Макроскопические свойства синергетических систем, таким образом, могут быть описаны через взаимодействие либо конкуренцию параметров порядка.

Формулируя задачи синергетики на языке математики, мы снова и снова пользуемся одними и теми же уравнениями, хотя рассматриваемые системы имеют при этом совершенно различную природу. Это свидетельствует как раз о том, что известные уравнения, описывающие параметры порядка, могут охватывать и хаотические процессы. Вспомним поведение нагреваемой снизу жидкости: коррелирующие друг с другом в фазе хаотического движения три параметра порядка вынуждают систему совершать колебания, переходя от одного типа движения к другому.

В результате предпринятых более тщательных исследований подобная корреляция параметров порядка представляется в следующем виде: на некотором временном интервале один из параметров порядка доминирует и порабощает два других, предписывая им подчинение его собственному типу движения; спустя какое-то время этот параметр порядка теряет свое господство, положением завладевает следующий параметр порядка, и «игра» продолжается. Следует особо отметить, что «смена власти» происходит абсолютно не регулярно, т. е. хаотично.

К упомянутой группе уравнений принадлежат и те, что описывают движение небесных тел, причем в роли параметров порядка в этом случае выступают координаты центров тяжести.

Сегодня известно, что при наличии большого количества коррелирующих параметров порядка следует ожидать хаотического движения, поэтому хаотическими следует признать и те случаи, которые прежде отбрасывались либо как следствие ошибки в измерениях, либо как противоречащие теоретическим положениям тогдашней науки. Примерами тому могут служить процессы, протекающие в экономике, или попытки управления самоорганизующимися процессами, в силу своей природы не требующими вмешательства извне — к таковым относится, скажем, разделение двух основных функций университетов, возникновение естественного процентного соотношения между исследовательским и учебным процессами.

Иногда, сидя субботним вечером у телевизора, мы радуемся благоприятному прогнозу погоды на следующий день — мы, к примеру, задумали выбраться на природу. Часто нас ожидает горькое разочарование: вместо обещанного чудесного солнечного дня воскресение оказывается дождливым и ветреным.

Уже долгое время над повышением точности прогнозов погоды работают не только метеорологи, но также физики и математики. Один из них — Джон фон Нейман. Поистине гениальный математик-универсал, венгр по происхождению, позднее уехавший жить в США, он сформулировал фундаментальные принципы, на которых основана работа современных электронно-вычислительных машин, первая из которых была собрана при активном участии самого фон Неймана в США в сороковых годах. Разумеется, фон Нейману с самого начала было ясно, насколько велики технические возможности компьютера, особенно те, что связаны с обработкой очень больших массивов данных. Фон Нейман был инициатором создания на Земле плотной метеорологической наблюдательной сети; полученные посредством этой сети данные о давлении и влажности воздуха, температуре, скорости ветра и т.п. должны быть собраны и переданы центральному «погодному компьютеру». Поведение воздуха не слишком значительно отличается от поведения жидкости, и поэтому, опираясь на основные уравнения, описывающие движение жидкости, можно рассчитывать влажность и поведение движущихся воздушных масс, а следовательно, и делать прогнозы погоды. О схожести движения жидких и воздушных масс мы уже упоминали, рассматривая аналогию между облачными дорогами в небе и цилиндрическим движением, возникающим в жидкости.

Несмотря на то, что сеть метеорологических наблюдательных станций становится все плотнее, прогнозы погоды практически не улучшаются.

В шестидесятых годах американский метеоролог Эдвард Н. Лоренц вплотную занялся основными уравнениями, описывающими движение жидкости. Проведя расчеты на компьютере, он обнаружил, что эти уравнения предусматривают и такие формы движения, которые — как принято говорить сегодня — являются хаотическими. Но что есть хаос? Хаотическими считаются те процессы, течение которых полностью изменяется при малейшем изменении исходных условий. Разумеется, нам просто не под силу со стопроцентной точностью замерить движение воздуха, а ведь даже небольшая погрешность в измерениях в течение нескольких дней — а то и часов! — может породить громадную ошибку в прогнозе.

Видимо, как раз этим обстоятельством и пользуется святой Петр, вновь и вновь поражая наше воображение непредсказуемостью небес.

Древние греки называли четыре агрегатные состояния вещества так: земля, вода, воздух и огонь. Три первые нам всем хорошо известны; теперь они обозначаются нами как твердое, жидкое и газообразное. Однако современными физиками было открыто и четвертое состояние вещества — плазма.

Как мы уже видели, различные агрегатные состояния отличаются друг от друга на микроскопическом уровне только относительным расположением отдельных молекул; например, в газообразном состоянии молекулы свободно движутся, и столкновения между ними носят случайный характер. При нагревании газа движение молекул усиливается, и они при этом распадаются на отдельные атомы, прежде входившие в состав молекул газа. Отдельный атом, как известно, состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него отрицательно заряженных электронов. При высоких температурах — порядка нескольких миллионов градусов — не только молекулы, но и электроны входящих в их состав атомов приходят в движение настолько интенсивное, что их связи с атомными ядрами оказываются нарушены, однако положительный заряд ядер при этом сохраняется. Газ, в атомах которого произошел разрыв связи между ядром и электронами, физики называют плазмой. В природе вещества, находящиеся в таком состоянии, отнюдь не редкость. Например, из плазмы состоит наше Солнце — вследствие царящих там температур порядка нескольких сотен миллионов градусов.

При столь высоких температурах отдельные атомные ядра сталкиваются друг с другом с чудовищной кинетической энергией; в результате таких столкновений — путем соединения, к примеру, двух малых ядер — могут даже образоваться новые ядра.

Уже в тридцатые годы Ханс Альбрехт Бете и Карл-Фридрих Вайцзекер занимались разработкой схемы, по которой ядра атомов вступают в реакцию друг с другом; конечным результатом подобной реакции было возникновение из четырех ядер водорода нового ядра — ядра атома гелия. Аналогично тому, как в ходе химического соединения атомов в молекулу происходит высвобождение энергии, которая затем преобразуется в тепловое движение, в момент соединения атомных ядер высвобождается поистине колоссальное количество энергии. Именно в ходе таких процессов и производит энергию наше Солнце; энергия эта выбрасывается в космическое пространство, что называется, почем зря: лишь малая ее толика достается Земле. Однако и столь малого количества энергии оказывается достаточно для того, чтобы обеспечить течение всех тех жизненных процессов, о которых мы непрестанно говорим на этих страницах.

Поскольку источники энергии, существующие на самой Земле, к сожалению, в легко обозримом будущем окажутся израсходованы, мы обязаны предусмотреть иные, новые способы получения энергии. В этом свете совершенно естественными представляются попытки воспроизвести в земных лабораториях процессы, протекающие на Солнце, чтобы впоследствии создать некое минисолнце, способное снабдить нашу планету энергией. С этой целью предлагается производить на Земле плазму, с помощью которой становится возможным осуществление термоядерных реакций, называемых также ядерным синтезом.

Процесс производства плазмы как таковой, собственно, не так уж и сложен. Электрическая дуга, которая используется для сварочных работ, представляет собой, по сути, плазму, производимую сильным током в воздухе между электродами. Ряд технических ухищрений позволяет ученым достичь и необходимых высоких температур. К сожалению, не обходится и без подвоха: даже при очень высоких температурах отдельные атомные ядра встречаются исключительно редко — им приходится преодолеть многие километры, прежде чем они наконец найдут себе партнера, с которым могли бы соединиться. Таким образом, для того, чтобы состоялась термоядерная реакция, заполненная плазмой область должна иметь поистине колоссальные размеры. Кроме того, частицы плазмы, естественно, очень быстро разлетаются. К сожалению, для плазмы невозможно подобрать подходящую тару: частицы плазмы — электроны и атомные ядра, — передвигаясь при столь высоких температурах, развивают колоссальные скорости и моментально пробивают стенки любых мыслимых емкостей. И все же физикам удалось найти способ, одновременно препятствующий разлетанию частиц плазмы и вынуждающий их снова и снова сталкиваться друг с другом. Плазма помещается в магнитное поле, для создания которого используются гигантские магниты; физикам известно, что заряженные частицы — каковыми и являются частицы плазмы, — попадая в магнитное поле, отклоняются, вследствие чего оказываются вынуждены двигаться по кругу. «Запертые» таким образом на относительно небольшом участке пространства, частицы плазмы получают великолепную возможность найти партнера для вступления в термоядерную реакцию. Самая многообещающая магнитная ловушка такого типа носит название Токамак. Слово «Токамак» — русского происхождения; первая часть его значит «ток», а вторая является сокращением от слова «максимальный»2. Таким образом, Токамак — это производитель максимального тока частиц плазмы.

Неустойчивость порождает изменения в макроскопическом движении. Физиками, занятыми изучением плазм, открыто уже более сотни различных типов неустойчивости: например, неустойчивости, при которых в плазме внезапно возникают волны, или такие неустойчивости, при которых образуются абсолютно новые конфигурации потоков. Одну из них мы рассчитали сами; конфигурация эта оказалась настолько красивой, что мы не смогли отказать себе в удовольствии поместить результат расчетов на этих страницах. Другой тип неустойчивости приводит через некоторое время к полному разрушению потока плазмы. Различные новые волны, конфигурации и прочая настолько многообразны, что физики, занятые изучением плазмы, порой делают попытки установить связи между ними и процессами, протекающими в живой природе. Однако, если рассматривать ситуацию с точки зрения возможности осуществления ядерного синтеза, то физики оказываются отнюдь не в восторге от большинства проявлений неустойчивости. Допустим, если в ходе процесса постоянно происходит смена одного типа неустойчивости другим, или колебания в системе все нарастают и нарастают, то становится попросту невозможно упорядоченно прогнать плазму по кольцу.И тут на сцену выступает хаос — явление, в виде совокупности идей уже нашедшее свое место в физике плазмы. Итак, перед физиками стоит задача разобраться в сути хаотического движения и таким образом разработать технику, позволяющую управлять хаосом. Разумеется, ученым предстоит проделать еще много исследовательской работы, причем благодаря синергетическому подходу отдельные отрасли знания могут и многое почерпнуть друг у друга, так как под хаосом подразумевается все же совершенно определенное явление.