**Тема 2.1. Порядок и Хаос**

**План**

1. Детерминированные и недетерминированные процессы

2. Энтропия

3. Информация

**1. Детерминированные и недетерминированные процессы**

Под порядком понимается такое состояние системы, при котором мы располагаем точным знанием относительно расположения и движения входящих в нее объектов.

Под хаосом понимается полностью дезорганизованное состояние системы.

В реальных условиях мы имеем дело с промежуточной ситуацией, характеризуемой некоторой степенью упорядоченности системы.

Термином chaоs древние греки обозначали первородное, неорганизованное состояние Вселенной, где все было перемешано: свет и тьма, добро и зло,… Но при этом они считали, что в этом первородном хаосе существовала способность к развитию, к разворачиванию со временем заложенного в него порядка. Поэтому современные словари ударений русского языка рекомендуют использовать два ударения: хаóс – для обозначения абсолютного беспорядка и хáос – для обозначения такого беспорядка, в котором в потенции содержится способность к саморазвитию.

Состояние системы не является чем-то застывшим. Переход системы из одного состояния в другое состояние называется процессом.

Процессы бывают разными.

Под случайными процессами понимаются абсолютно непредсказуемые процессы. Им противостоят детерминированные процессы – процессы, протекание которых можно в точности предсказать. Между ними находятся стохастические процессы – процессы, протекание которых можно предсказать с какой-то вероятностью. Иначе говоря, это вероятностные или предугадываемые с какой-то вероятностью процессы.

Стохастичность (греч. ζηόχος — цель или предположение) означает случайность. Стохастический процесс — это процесс, поведение которого не является детерминированным, и последующее состояние такой системы описывается как величинами, которые могут быть предсказаны, так и случайными. Однако, любое развитие процесса во времени (неважно, детерминированное или вероятностное) при анализе в терминах вероятностей будет стохастическим процессом (иными словами, все процессы, имеющие развитие во времени, с точки зрения теории вероятностей, стохастические).

**2. Энтропия**

Энтропия – от др. греческого ἐντροπία - поворот, превращение.

Понятие энтропии впервые было введено в термодинамике для определения меры необратимого рассеяния энергии. Энтропия широко применяется и в других областях науки: в статистической физике как мера вероятности осуществления какого - либо макроскопического состояния; в теории информации - мера неопределенности какого-либо опыта (испытания), который может иметь разные исходы, а значит и количество информации.

Все эти трактовки энтропии имеют глубокую внутреннюю связь.

Энтропия - это функция состояния, то есть любому состоянию можно сопоставить вполне определенное (с точность до константы - эта неопределенность убирается по договоренности, что при абсолютном нуле энтропия тоже равна нулю) значение энтропии.

Пусть имеется некоторая система, состоящая из N = 1 частицы, могущей находиться в W = 2 доступных ей ячейках пространства, например, в ящике с перегородкой, в которой имеется отверстие (рис. 1,а). Очевидно, если число частиц в таком ящике увеличить до N = 2, то число возможных состояний системы W = 4 (рис. 1, б). При N = 3 W = 8 (рис. 1, в).

Статистическим весом W системы называется величина, равная числу доступных состояний всех частиц, входящих в эту систему или, иначе, числу микросостояний системы.

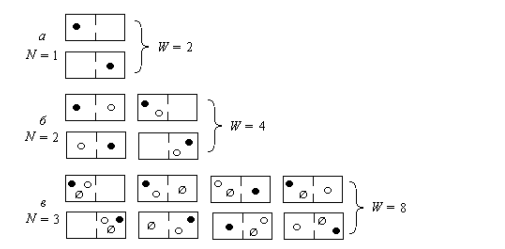


Рис. 1. К понятиям статистический вес и энтропия системы

Из рис. 1 видно, что статистический вес системы равен произведению статистических весов всех подсистем, на которые можно разбить эту систему:

 (1)

Например, если в случае рис. 1, в: N = N1 + N2 = 1 + 2, то W = W1 · W2 = 2 · 4 = 8. Если N = N1 + N2 + N3 = 1 + 1 + 1, то W = W1 · W2 · W3 = 2 · 2 · 2 = 8. В системе с двумя пространственными ячейками W = 2n. В системе, состоящей из n ячеек, N частиц имеют статистический вес W = Nn.

Вместо статистического веса часто бывает удобно пользоваться другой физической величиной – энтропией системы.

Под энтропией S системы понимают логарифмическую меру ее статистического веса:

 (2)

Выражение (2) удобнее, чем (1), в том отношении, что энтропия системы равна сумме энтропий всех своих подсистем:

 (3)

так как логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей.

Такой подход к понятию «энтропия» был предложен в 1872 г. австрийским физиком Л. Больцманом, поэтому выражение (2) называется формулой Больцмана для энтропии. Здесь  – постоянная Больцмана. Исторически же это понятие впервые было введено немецким физиком Р. Клаузиусом в 1865 г. для термодинамических процессов.

Одним из фундаментальных принципов природы является принцип возрастания энтропии: в изолированной системе энтропия не изменяется при обратимых процессах и возрастает при необратимых процессах.

Обратимыми процессами называются такие процессы, при которых систему можно вернуть в исходное состояние через те же самые промежуточные состояния. Реальные процессы, как правило, необратимы, так как вследствие трения, излучения, теплопередачи и т. п. сопровождаются диссипацией энергии (от лат. dissipatio – рассеяние). Действительно, в изолированной системе, при наличии диссипативных процессов, происходит хаотическое перераспределение частиц по всем возможным состояниям, т.е. система становится менее упорядоченной, поэтому ее статистический вес и энтропия возрастают, стремясь к максимально возможному значению, которое достигается в равновесном состоянии системы.

Очевидно также, что при температуре, равной абсолютному нулю, когда всякое движение в системе прекращается, и, стало быть, она характеризуется единственным доступным ей состоянием (W = 1), энтропия системы обращается в нуль:

 (4)

Выражение (4) называется законом Нернста (в честь немецкого физика и химика В. Нернста), или третьим началом термодинамики.

Из приведенных рассуждений ясно, что физический смысл энтропии состоит в том, что она есть мера разупорядочения системы или мера ее близости к хаосу.

Понятно, что в открытых системах, взаимодействующих с другими системами или отдельными телами, энтропия может и понижаться. Тогда в системе имеет место упорядочение. Абсолютного хаоса (по древнегреческой мифологии сhaos – беспредельное, бесформенное первородное состояние мира) в ограниченной части Вселенной не существует, так как, согласно (1), (2), для требуется, чтобы число частиц в системе 

**3. Информация**

Степень хаоса в системе можно измерить, найдя ее энтропию. А как измерить степень порядка? Порядок предполагает некоторое знание о системе или информацию. При этом надо понимать, что этими знаниями или информацией можно с кем-то поделиться, кому-то передать, иначе от них нет никакой пользы.

Под информацией (от лат. informatio – разъяснение, изложение) понимают любые сведения, передаваемые с помощью каких-либо сигналов или знаков от одного объекта к другому объекту. В качестве объектов могут выступать люди, любые живые организмы или даже отдельные клетки, а также технические устройства. Как отмечал академик В. М. Глушков: «Информация существует, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собой какую-то информацию». Таким образом, любое отклонение от хаоса в сторону структурирования и упорядочения системы повышает информацию о ней. Поскольку энтропия системы при этом уменьшается, то австрийский физик Э. Шредингер (1887–1961) предложил считать информацию величиной, равной энтропии со знаком «минус». Французский физик и специалист по теории информации Л. Бриллюэн (1889 – 1969) назвал информацию негэнтропией. Таким образом, приращение информации равно убыли энтропии:

 (5)

Всякое сообщение, закодированное какими-либо символами, содержит в себе неопределенность, пропорциональную числу возможных сочетаний из этого набора символов по их позициям, т. е. может быть охарактеризована некоторым статистическим весом сообщения. Тогда, при условии равновероятности встречаемости символов, энтропия сообщения может быть представлена в виде

 (6)

где к – коэффициент пропорциональности, который в теории информации полагается равным единице (к = 1), а p – вероятность появления символов.

В смысловом (семантическом) аспекте энтропия характеризует степень деградации энергии в системе, связанную с ее рассеянием: энергия высокого качества, за счет которой может производиться работа (например, потенциальная энергия поднятого груза или направленного потока фотонов в солнечном свете), превращается в энергию более низкого качества – тепловую энергию хаотического теплового движения частиц. Тогда информация характеризует уровень качества энергии в системе. Таким образом, для заметного вклада в уменьшение энтропии системы требуется огромное количество информации, выраженной в битах.

В наиболее простых, телеграфных кодах, предназначенных для передачи лишь словесных сообщений, используется предложенный французским изобретателем Ж. Бодо 5-разрядный алфавит на основе двух символов. Число возможных выборок объема n = 5 из совокупности N = 2 символов составляет Nn= 25= 32. В русском языке это обеспечивает передачу всех букв алфавита, кроме буквы ѐ. Однако любой сбой на входе канала связи или в процессе передачи сообщения приводит к ошибкам на выходе. Поэтому, с целью помехоустойчивости кодирования, помимо смысловой оценки сообщений в ответственных случаях используется дублирование передаваемой информации.

Природа поступила мудрее. В генетическом коде используются 3-буквенные слова (n = 3) – кодоны – на основе 4-символьного алфавита (N = 4), образованного следующими нуклеотидами: А – аденин, Г – гуанин, У – урацил, Ц – цитозин. Каждый кодон кодирует одну аминокислоту, входящую в состав белка. Число выборок в этом случае составляет Nn= 43= 64, а число возможных сочетаний с повторением = 20.

Именно 20 важнейших аминокислот, из более чем 150 природных, входят в состав клеток всех организмов, живущих на Земле. Явная избыточность генетического кода обеспечивает его высокую помехоустойчивость к мутациям.

Участок ДНК, содержащий в виде последовательности нуклеотидов информацию об одном белке, – ген – может быть представлен разным набором кодонов, образуя аллели – разновидности одного и того же гена.

Наличие в популяциях нескольких аллелей каждого гена приводит к полиморфизму и комбинативной изменчивости при половом размножении, т. е. служит исходным материалом для эволюции. Кроме того, часть кодонов используется в качестве служебных команд типа «начать», «пропустить», «закончить» (процесс трансляции) при синтезе конкретного белка.

Два сообщения, содержащие одинаковое число бит информации, могут иметь совершенно разную значимость. Более того, эта значимость может (или не может) быть оценена лишь теми объектами, которые участвуют в обмене информацией.