

## НА ПУТИ К ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ

К. КОРНАКЕР

(Массачусетский технологический институт)

Организация, которую мы сейчас представляем себе в виде некоторого ряда структурно-функциональных связей, есть главное свойство всех биологических систем и проявляется на всех уровнях — от молекулярного до социального. Основные вопросы, касающиеся организации — что она собой представляет и как она возникает, — столь же трудны, как и аналогичные вопросы в отношении жизни.

Мой подход к этим вопросам был связан с поисками физического языка, отличного от чисто математического или чисто метафорического языка и пригодного для того, чтобы описывать и объяснять появление организации на *любом уровне*. Этот подход можно, пожалуй, наиболее наглядно продемонстрировать на примере анализа отношений между демоном Максвелла, термодинамическим взаимодействием, «использованием информации» и биологической организацией.

Демон Максвелла представляет собой воображаемое устройство, которое, как полагали, показывает, что второй закон термодинамики неприменим, если известно микроскопическое состояние системы. Демон, который может «видеть» молекулы, способен создавать градиенты концентрации через мембрану с помощью «заслонки», пропускающей молекулы лишь в одном направлении. Если пренебречь увеличением энтропии в демоне, то падение энтропии в окружающей демона среде, по-видимому, будет противоречить второму закону термодинамики. Если же принимать во внимание увеличение энтропии демона, то он просто превращается в модель одного из возможных механизмов термодинамического взаимодействия (компенсирующего изменения энергии в различных частях изолированной системы).

Демон Максвелла «использует информацию», потому что он выполняет задачу, которую он не мог бы выполнить, не имея «сведений» о локальном движении молекул. Поэтому в данном случае можно сказать, что *сила термодинамического взаимодействия определяет меру использования информации*. Поскольку мы хотим использовать сходное определение для описания всех уровней организации, важно показать, что изложенные выше соображения относятся не только к молекулярным явлениям.

Интересующие нас общие явления представляют собой закономерности, «возникающие» в сложных системах. Например, избирательная чувствительность одиночной клетки зрительного нерва к определенной совокупности зрительных раздражителей обусловлена взаимодействием тысяч синаптических потенциалов, генерируемых в дендритах клетки. В свою очередь возникновение зрительной реакции организма определяется взаимодействием миллионов волокон зрительного нерва.

Использовать понятие термодинамического взаимодействия при анализе проявляющихся при этом закономерностей довольно просто, если только статистическая термодинамика вообще приложима к системам с действительно известным микроскопическим состоянием. Упомянутый выше демон Максвелла имеет непосредственное отношение к этой проблеме; приводимое ниже краткое обсуждение превращения кинетической энергии в тепло показывает, как это сделать.

Кинетическая энергия  $E$  частицы, подвергающейся действию внешней силы  $F$  и движущейся со скоростью  $v$ , изменяется в соответствии с уравнением

$$dE / dt = F \cdot v.$$

Если усреднить это выражение (по времени, или по различным частицам, или по повторным экспериментам с различными начальными условиями), мы получим (угловыми скобками обозначено усреднение)

$$\langle dE / dt \rangle = \langle F \cdot v \rangle = \langle F \rangle \cdot \langle v \rangle + \langle (F - \langle F \rangle) \cdot (v - \langle v \rangle) \rangle.$$

Допуская, что при макроскопическом измерении подобное усреднение необходимо для снижения уровня помех, мы можем сказать, что по отношению к таким измерениям скорость выполнения макроскопической работы составляет  $\langle F \rangle \cdot \langle v \rangle$ . При этом, согласно первому закону термодинамики, другой член уравнения  $\langle (F - \langle F \rangle) \cdot (v - \langle v \rangle) \rangle$ , выражающий степень корреляции между колебаниями  $F$  и  $v$ , определяет скорость превращения кинетической энергии в тепло.

Вернемся теперь к нервной клетке. Характер разряда клетки определяется некой (нелинейной) пространственной и временной средней множества синаптических потенциалов, генерируемых в дендритах, так что реакция клетки включает в себя пространственные и временные корре-

ляции активности дендритов. По-видимому, язык статистической термодинамики приемлем для изучения этих коррелятивных явлений и может даже оказаться эффективным при анализе явления распознавания образов.

Переходя теперь к определениям понятия организации, мы можем сказать, что *функциональная организация на данном уровне соответствует термодинамическому взаимодействию (использованию информации) на том же уровне. Структуру, по-видимому, можно назвать организованной, если ее существование либо необходимо для поддержания некой функциональной организации, либо, напротив, зависит от деятельности некой такой организации.* На мой взгляд, сколько-нибудь полезное определение структурной организации невозможно без упоминания о функциональной организации.

В заключение я хотел бы сказать, что в ходе анализа кинетики термодинамического взаимодействия в нестационарных необратимых процессах, по-видимому, можно будет получить ответ и на вопрос о происхождении организации.