

ГЛАВА VII

ПОЛНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПУТЬ ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИИ И МЫШЛЕНИЯ

В предыдущих главах (III—VI) был разобран термодинамический процесс информации и мышления, начиная от «уровня задачи» и кончая «уровнем решения». Этот этап термодинамического пути двух процессов является наиболее характерным в том смысле, что именно на нем выявляется принципиальное различие между информацией и мышлением, о котором говорилось выше. В этом рассуждении за исходный уровень считался заранее данный «уровень задачи». Однако уровень задачи не является наиболее низким по свободной энергии и в этом смысле исходным уровнем. Наоборот, задача никогда не возникает самопроизвольно и, следовательно, требует для своей постановки затраты работы. Поэтому первым и самым низким по свободной энергии исходным уровнем является уровень того «материала»¹, который содержит некоторое множество исходных данных, в том числе необходимых для постановки задачи, включая сюда опытные данные, теории, экспериментальные и расчетные методы и проч.

Постановка задачи

Постановка задачи и отбор данных — это следующий, второй уровень на термодинамическом пути постановки и решения информационной и логической задачи.

В недавно вышедшем сборнике статей по кибернетике (см. введение) помещена статья У. Росс Эшби «Что такое разумная машина?». Хотя наша монография не ставит перед собой полемических задач, но все же здесь стоит остановиться на некоторых утверждениях Эшби. Например: «Не существует «истинного» разума. ...Если под этим понимать способность выполнять подходящий отбор без обработки соответствующего количества информации, то такого

¹ Понятие «материала» как всей совокупности имеющихся данных, включая сюда и чувственную подсознательную сферу, шире понятия информации как совокупности данных, могущих быть закодированными и переданными по каналу связи. Для логической задачи «материал» сужается до степени информации, и эти понятия становятся эквивалентными. Но так как нельзя предвидеть тех форм мышления, которые окажутся доступными обобщенному термодинамическому анализу, то здесь оставим для исходных данных более широкое понятие «материала».

«истинного» разума нет, это миф». (То, что отбор данных нуждается в их обработке, похоже на тавтологию, которую трудно оспаривать.) «Существует только один сорт разума, он проявляет себя тем, что производит подходящий отбор». (С этим нельзя согласиться, так как «подходящий» для себя отбор производят все живые существа, а не только разумные, т. е. люди.) Гения как особого уровня творческих способностей тоже нет: «Одной из причин, по которой кто-нибудь становится гением, является то, что он платит за это тяжелым трудом. Он вынужден обрабатывать необходимое количество информации».

Об этих утверждениях и некоторых других аналогичных иногда трудно сказать, правильны ли они или ошибочны, так как понятия, которые они содержат, у Эшби точно не определены.

Что, например, он понимает под «информацией»? Если, как принято считать, это некоторые данные, не обладающие заведомой достоверностью, но способные быть точно кодированными и переданными по каналу связи, то человеческий разум (сознание) оперирует неизмеримо более обширным «материалом», чем такая информация, вплоть до подсознательных образов, эмоций, мгновенных ассоциаций, сновидений и других психических факторов, которые недоступны машине. То, что машина «не видит снов», «не грезит», «не мечтает», «не воодушевляется», «не разочаровывается» и т. п., чрезвычайно обещает ее интеллектуальные возможности прежде всего в самом зарождении и постановке задачи, в отборе материала и в создании гипотез (см. ниже).

В целях анализа приходится выделять мышление из всего объема психики, однако это возможно только для *формализованного дискурсивного мышления*. Мышление же в целом входит в общий психический комплекс, составляя лишь отчасти его автономную область. Задача и желание решить ее не могут возникнуть без воздействия психического фактора, воли, внутренней потребности и другого сложного мотива (любознательности, соревнования, честолюбия, выгоды и проч.), или без взаимодействия с другими людьми и с обществом в целом.

Далее, что такое «переработка информации»? Сортировка данных, их логическая комбинаторика, интуитивное обобщение? На эту тему мы у Эшби не найдем ответа.

Что значит «подходящий отбор»? Если подходящим считается тот отбор, который нужен для решения задачи, тогда, как говорилось ранее, во главу угла нужно поставить задачу и соответственно признать за разумом прежде всего способность ставить задачи, причем не только конкретного, но и логического уровня.

Теперь несколько слов о гениальности. Пушкин сказал, что «всякий талант неназываем». Если Пушкин с его несомненной гениальностью и громадным ясным умом не смог разъяснить суть гениальности (впрочем, как и другие гении), то, следовательно, трудности здесь очень велики. Деятельность гения действительно часто сопровождается большим напряженным трудом, но никак нельзя считать, что гениальность может быть заработана большой трудоспособностью в «переработке информации». Для этого циничного качества нужно найти какое-то другое определение. Следует говорить о коэффициенте полезного действия мышления, т. е. о полезной работе, которую выдает наше сознание на воспринятый материал или информацию. Высокий творческий к. п. д. — несомненно одно из основных свойств гения, но этим, конечно, не исчерпывается суть гениальности, хотя это подкрепляется фактом высокой продуктивности недолго живших гениев: математиков — Галуа (22 года), Абеля (27 лет), индуза Рамануджана (33 года), Паскаля (39 лет), поэтов, композиторов, художников — Лермонтов (26 лет), Шелли (30 лет), Байрон (36 лет), Пушкин (37 лет), Моцарт (35 лет), Шопен (39 лет), Рафаэль (37 лет).

Интересно, что в этом перечне нет естествоиспытателей, для которых на-
копление и переработка информации действительно являются важным факто-
ром продуктивности. Однако максимум этой продуктивности и у них прихо-
дится на возраст до 40 лет (см. ниже). Математики же, поэты, композиторы,
художники, несомненно, творят по некоторому механизму, не связанному с

переработкой больших количеств информации. Поэтому правильней согласиться с Пушкиным и не объявлять гениальность фикцией, сводящейся (по Эшби) в своем существе к совмещению большой трудоспособности и счастливого случая.

Задача возникает или как внешняя необходимость в форме некоторого естественного развития науки, техники, общества, или как некоторая внутренняя потребность. Задача может иметь своим предметом увеличение упорядоченности в некоторой области (векторизацию), ее сохранение или нарушение (бронизация). Затраты энергии на постановку этих различных задач однозначно не определяются их содержанием и в общем случае не может быть оценена. Можно сказать только, что уровень задачи в случае информации лежит выше уровня исходного материала и ниже уровня решения, а в случае дискурсии выше их обоих (см. ниже рис. 22 и 23, а также гл. III и IV).

Характер задачи всецело определяет отбор данных, которые существуют в наличии или которые нужно специально получить для того, чтобы сделать возможным ее решение. Этот отбор также не может произойти самопроизвольно и, следовательно, требует затраты обобщенной работы.

Упорядочение и систематизация исходного материала, содержащего N данных Z сортов, заключаются в том, что исходный, смешанный и неупорядоченный материал и содержащиеся в нем данные разделяются на ячейки Z сортов, по которым распределяются элементы этого материала (рис. 21, а, б, в). Эти операции — различение или распознавание данных, построение ячеек, распределение однородных данных (с общим индексом) по ячейкам — можно произвести только с помощью человеческого сознания. Никакой механизм принципиально не может проделать уже первую операцию, т. е. различение данных по их смыслу, а следовательно, их маркировку. Без этих же операций невозможно машинное распределение данных по ячейкам.

a_1	a_3	a_5	a_7	a_2
a_5			a_{10}	a_5
a_2			a_{20}	<i>и т.д.</i>

a_1	a_1	a_2	a_2	a_3	a_3	a_4	a_4
a_5	a_5	a_6	a_6	a_7	a_7		<i>и т.д.</i>
a_5	a_5	a_6	a_6	a_7	a_7		

0	0	0	0	0	0	<i>и т.д.</i>
0	0	0	0	0	0	

Рис. 21

Пусть у такого неупорядоченного материала вероятность выборки некоторого i -того сорта данных из смеси равняется p_i . Тогда энтропия информации такого материала, содержащего N данных, составит

$$H_{\text{неупоряд}} = -N \sum_i^Z p_i \log p_i \quad \left(p_i = \frac{n_i}{N} \right). \quad (\text{VII.1})$$

Здесь N выражает общее количество данных, а Z — их разнообразие. После распределения этих данных по определенным ячейкам вероятность выборки нужного сорта становится равной единице и энтропия информации снижается до нуля

$$H_{\text{упоряд}} = 0. \quad (\text{VII.2})$$

Следовательно, затрата работы сознания на такую систематизацию и упорядочение материала составит

$$I = -H_{\text{неупоряд}}. \quad (\text{VII.3})$$

Для больших N и Z эта работа будет велика. Сознание, которое удовлетворяется небольшим числом данных и не слишком большим их разнообразием, затратит значительно меньше обобщенной работы на создание уровня «задачи + отбора», чем то сознание, которое не экономно в своих требованиях к материалу. Такое избыточное мышление малопродуктивно.

Вспомним, какое относительно малое число данных потребовалось Д. И. Менделееву, чтобы создать свою периодическую систему и утвердить ее как фундаментальный закон природы — в основном знание атомных весов и высшей валентности по кислороду 64 известных тогда (1869 г.) элементов, из которых для восьми атомный вес даже еще не был надежно установлен. Всего на пяти аксиомах Евклид построил систему геометрии, просуществовавшую без особых изменений около двух тысяч лет (теперь эта аксиоматика, естественно, приведена к большей строгости, и число аксиом соответственно увеличилось). Всего три закона Кеплера и закон центростремительной силы понадобились И. Ньютону, чтобы вывести закон всемирного тяготения. Всего из нескольких точно продуманных операций состоял опыт М. В. Ломоносова, впоследствии в иной форме воспроизведенный Лавуазье, позволивший ему открыть закон сохранения вещества. Наконец, известно, что в основе всей термодинамики лежат только два закона и теорема Нернста — Планка, которую можно считать не имеющей столь общего характера, а в основе всей классической механики — всего три закона Ньютона и закон всемирного тяготения.

За такими классически правильными постановками задач и минимизацией нужных данных лежит высокая организация сознания за счет филогенетической «предпрограммы» (Эшби), требующая большого труда и постоянно направленной работы

мысли. Хранители больших запасов информации (эрuditы) сравнительно редко являются первооткрывателями. Этому отвечает тот известный факт, что большинство открытий делается учеными в относительно молодом возрасте, когда запас информации у них еще не слишком значителен, но аналитическая и комбинаторная способность мысли велика¹.

В затрату работы сознания, выражющуюся уравнением (3), входит и отбор необходимых данных. Это символизируется тем, что на диаграмме рис. 21, в ненужные данные имеют индекс «ноль» и отделены от остальных. Может возникнуть необходимость, и практически она очень часто возникает, собрать данные в более компактном виде, например выписать данные определенного сорта из нескольких карточек на одну. Такое сжатие всего объема V уже представляет физическую работу, которая может быть поручена машине и выразится уравнением

$$A = -\ln \frac{V}{V'}, \quad (\text{VII.4})$$

где V' — объем материала, до которого сжаты отобранные и систематизированные данные.

Естественно, что задача должна быть поставлена корректно в том смысле, чтобы для ее решения требовался отбор определенных, ограниченных в числе и принципиально доступных данных. При этом несущественно, имеются ли эти данные в наличном материале или же указывается, какие из них необходимо получить. Первое энергетическое состояние, с которого начинается информационно-логический процесс, представляет «уровень материала» $\Phi_{\text{мат}}$, характеризующийся определенной степенью упорядоченности этого материала. Чтобы пояснить, что здесь понимается под упорядоченностью материала как источника данных для решения различных задач, можно представить материал в виде справочников, расположенных на полках по вполне определенной системе. Обобщенная энтропия такого вполне упорядоченного материала будет равняться нулю. Если нарушить расположку этих справочников и заменить ее случайной, то обобщенная энтропия материала возрастет, а его свободная энергия, выражаясь в способности понижать энтропию других систем, понизится. Соответственно этому возрастет работа отбора нужных данных для постановки и решения выбранной задачи. Если все справочники разбрать по страницам и перемешать в кучу, энтропия материала поднимется еще выше. Если измельчить страницы до отдельных слов или букв, то «материал» как источ-

¹ У химиков такой возраст лежит в интервале 26—30 лет, у математиков — 30—34 года, у астрономов, геологов и бактериологов — 35—39 лет. Для писателей этот возраст меньше 45 лет, для поэтов он ниже на 10—15 лет. Наряду с этим собрано немало случаев создания выдающихся произведений в зрелом и даже старческом возрасте (см. Ф. Бурльер Старение и старость. М. ИЛ, 1962).

ник выборки исходных данных исчезнет, так как вполне хаотическая совокупность уже не является «материалом». В то же время для исходного материала характерна высокая степень вырожденности, т. е. энергетическая неразличимость¹ элементов этого материала в смысле их эквивалентности, так же, как эквивалентны различные справочники или различные буквы алфавита или числа. В этом смысле, в отношении полной энергии $\epsilon_{\text{мат}}$, элементы исходного материала нужно считать изоэнергетичными, поскольку всякий наудачу взятый элемент материала не имеет никаких преимуществ перед всяkim другим и оба они могут войти в специально отобранные наборы, необходимые для решения различных задач. Например, то, что свободно падающее в пустоте тело проходит в поле земли в первую секунду 4,9 м, имеет не большее и не меньшее значение для решения логических задач определенного класса, чем то, что атом водорода ^1H состоит из протона и вращающегося вокруг него электрона в виде «облака» некоторой формы. Оба эти факта логически эквивалентны для решения тех задач, где они являются необходимыми. Иными словами, когда отбираются для решения задач независимые исходные данные (посылки, информационные сведения и т. д.), то сами по себе, независимо друг от друга и поставленной задачи, они не являются предпочтительными перед всяkim другим набором каких-либо данных, хотя по своей абсолютной значимости в отношении более широкого круга вопросов они могут резко отличаться.

Нужно подчеркнуть, что постановка задачи и отбор нужных данных суть последовательные процессы, каждый со своим энергетическим уровнем, т. е. с затратой обобщенной работы. Можно найти много случаев, когда задача ставилась раньше, чем появлялся нужный материал для ее решения.

Классический пример этого — научные работы Леонардо да Винчи, являющиеся во многом правильно поставленными задачами без наличных данных для решения.

Поэтому на практике два этапа — постановка задачи и отбор данных для ее решения — могут быть значительно раздвинуты во времени. Но так как термодинамика время не учитывает, то эти два этапа можно считать за один акт «постановки задачи», включающий как формулировку задачи, так и отбор или получение данных, необходимых для ее решения.

Неразрывность «задачи» и «отбора» на приводимых ниже графиках (рис. 22) символизируется тем, что величины их уровней суммируются в общий «уровень задачи + отбора» путем наложения «уровня отбора» (верхний) на «уровень задачи» (нижний). Соотношение этих двух «подуровней» может широко варьировать

¹ Еще раз поясним, что энергетическая неразличимость в обобщенном смысле заключается в неразличимости изолированно взятых элементов по их обобщенной энтропии и свободной энергии. Эти параметры выясняются только при взаимодействии элементов, взятых в общей системе.

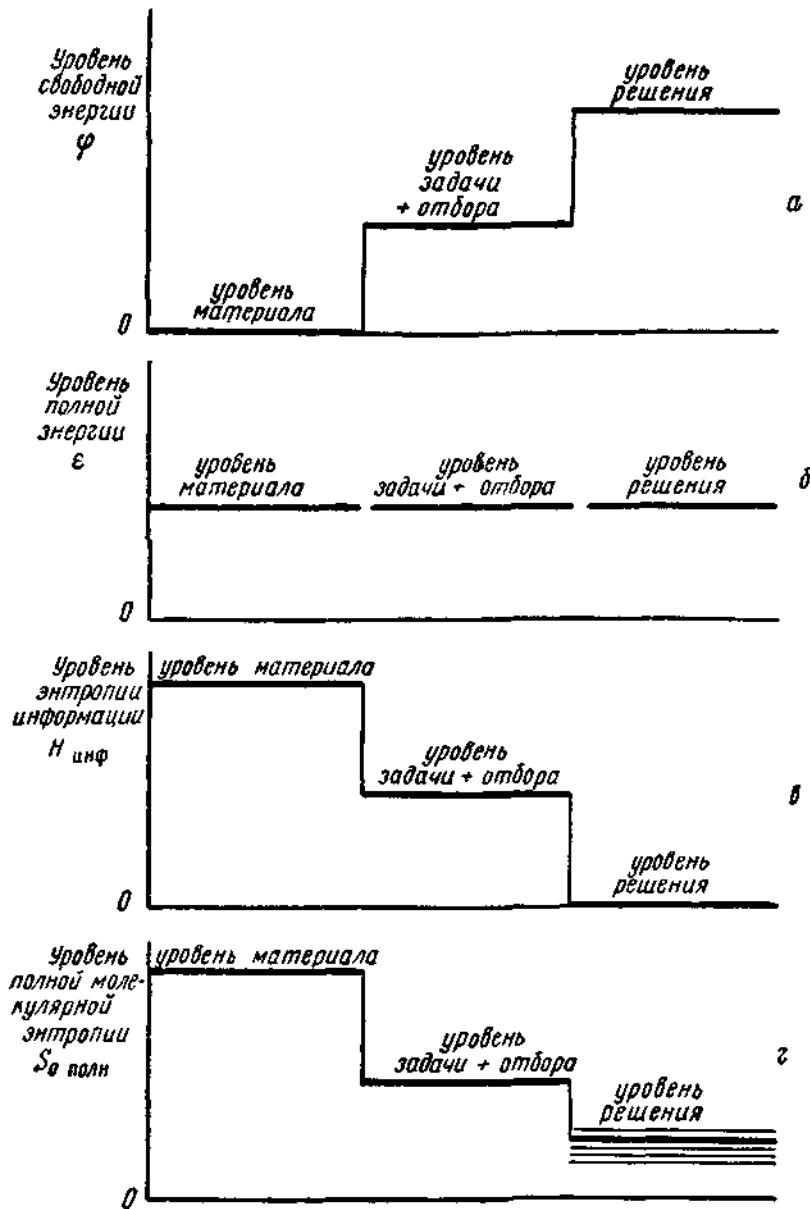


Рис. 22. Полный термодинамический путь процесса информации

вплоть до практического исчезновения «уровня отбора», но «уровень задачи» неустраним. Нельзя представить отбор нужных данных без предварительной постановки задачи, для решения которой он производится.

Поэтому, когда Эшби и некоторые другие авторы подчеркивают важность акта «отбора», не говоря о «задаче», они этим вносят неясность в проблему моделирования мыслительного процесса. Задача может быть отделена от отбора, не утрачивая своего смысла (в науке — это скорее правило, чем исключение), но отбор без задачи имеет значение только как обогащение эмпирического материала новыми данными. Поэтому тезис: «Разумной следует считать систему, способную выполнять подходящий отбор» (Эшби) неполон и его следует заменить на другой: «Разумной следует считать систему, способную ставить и решать логические задачи». Только эта способность является критерием разумности, так как решать практические или информационные задачи способны все живые существа. Понимая под разумностью способность производить подходящий отбор, Эшби благодаря такому ограничению преждевременно объявил, что «положение проблемы «разумной машины» прояснилось, и ответ на этот вопрос известен». В своих трудах он старается показать, что нужно расстаться с понятием разума как способностью мозга, независимой от наблюдаемого поведения системы. К той же системе мыслей примыкает «броский» афоризм Эшби, что «разумен тот, кто разумно действует¹». Тавтологический характер этого тезиса выражает метод автора, который считает, что нет других способов определить разумность системы, кроме характера ее поведения (бихевиоризм), и в этом смысле автомат, действующий разумно, можно считать наделенным разумом. Разумно же то, что полезно для системы, что содействует ее выживанию и сохранению. Кроме элементов прагматизма — это дань осторожному позитивизму, который не хочет себя связывать никакой интроспекцией, никакими объективно не наблюдаемыми параметрами. Но что пригодно для автомата, то неплодотворно для мыслящего мозга человека с его основной функцией — сознанием и самосознанием. Нужно, однако, оговориться, что У. Эшби к названию своей книги «Конструкция мозга» дает многозначительный и ограничивающий подзаголовок «Происхождение адаптивного победения» (курсив наш. — Н. К.). Поэтому, возможно, нужно считать, что ряд крайних высказываний Эшби не относится к сознанию и мышлению в собственном смысле слова.

Таким образом, полный термодинамический путь информационно-логического процесса состоит из фундаментальной триады:

¹ Никто, однако, не станет утверждать, что Сократ, который сутки безмолвно простоял на месте, размышляя о моральных проблемах своей философии, т. е. бездействовал и не выдавал информации, был в это время неразумен. И вся его жизнь, очевидно, была совершенно «неразумна», как отрижение адаптации и выживания

материал — (задача+отбор) — решение, которые могут быть охарактеризованы определенными термодинамическими уровнями свободной, полной энергии и энтропии, взятыми в обобщенной форме. Как уже говорилось, первый исходный уровень материала во *всех случаях* лежит *ниже* уровня задачи и уровня отобранных или специально полученных данных в соответствии с этой задачей.

Если обозначить обобщенную свободную энергию некоторого числа n случайно выбранных элементов материала через ϕ^I , а свободную энергию того же числа специально отобранных элементов для данной задачи через ϕ^{II} , то их разность составит величину работы, затраченной на отбор этих элементов в соответствии с поставленной задачей. Таким образом,

$$A = \phi^I - \phi^{II}. \quad (\text{VII.5})$$

В общем случае работа специального отбора необходимых данных будет зависеть не только от неупорядоченного состояния материала, но и от обрабатывающего его сознания или механизма и, следовательно, не будет полным дифференциалом. Однако всегда существует минимальное число операций, отвечающее минимальной затрате обобщенной работы, с помощью которых можно восстановить упорядоченное состояние материала. В этом случае работа A как разность свободной энергии отобранного материала и исходного материала уже будет полным дифференциалом, а следовательно, функция ϕ будет характеристической, т. е. функцией только начального и конечного состояний.

Если исходный материал лишен всякой упорядоченности, то он не может понижать энтропию другой системы, и его свободную энергию нужно принять за нуль

$$\phi^I = 0. \quad (\text{VII.6})$$

Практические и информационные задачи решают все живые существа, постановка же и решение логических задач совершаются в природе только при участии человеческого сознания — мозга и составляют его высшую функцию, которая делает возможным логический обмен между людьми и приведение множества индивидуальных сознаний к общеобязательным положениям или соглашениям. Можно представить, во что превратилось бы общество в целом, если бы обмен между его членами исчерпывался одной информационной и эмоциональной областью. Тем более удивительно (хотя для этого автора, видимо, последовательно), что эта фундаментальная способность человеческого сознания, в ее индивидуальном и социальном плане, опущена Эшби в его книге «Конструкция мозга». На стр. 33—34 этой книги читаем: «Если наличие сознания — самый фундаментальный из всех фактов, то почему он не используется в этой книге? Ответ, я полагаю, состоит в том, что наука имеет дело — и может иметь дело — только

с тем, что один человек в состоянии *продемонстрировать* или *доказать* другому... Мы еще не знаем способа, с помощью которого он (обладатель сознания. — *H. K.*) мог бы продемонстрировать свое переживание другому лицу. А пока такой способ или какой-либо его эквивалент не будет найден, факты сознания не могут быть использованы в научном методе». Этим Эшби устраняет из сознания всю его *логическую* деятельность, которая как раз дает возможность одному человеку *продемонстрировать* или *доказать* другому обязательность как фактов внешней действительности, так и своего собственного мышления в форме логических суждений. Такое условное сознание, ограниченное сферой переживаний, не есть сознание человека.

Термодинамический путь информации

Таким образом, производительная деятельность сознания начинается с работы над исходным материалом и может иметь как явный, так и скрытый характер. Но это различие не существенно и его можно не включать в наше рассмотрение.

Процесс отбора является процессом изоэнергетическим, поскольку изоэнергетичны все исходные данные (см. выше), но не самопроизвольным и требует затраты обобщенной работы A (уравнение (5)). Следовательно, для n выделенных данных и этих же n данных в исходном материале (в «смеси»)

$$e_n^{\text{II}} = e_n^{\text{I}}. \quad (\text{VII.7})$$

Отсюда, согласно уравнению Гиббса — Гельмгольца, получим для энтропии этих же данных

$$H^{\text{I}} - H^{\text{II}} = -(\varphi^{\text{I}} - \varphi^{\text{II}}) \quad (\text{VII.8})$$

и, учитя уравнение (5),

$$H^{\text{II}} = H^{\text{I}} - |A|, \quad (\text{VII.9})$$

т. е. энтропия специально отобранных данных, в переводе на общую единицу, ниже энтропии случайно взятых данных на работу этого отбора.

На рис. 23 графически изображен термодинамический путь информационного процесса. Первый уровень отвечает исходному и может быть обозначен как «уровень материала». Следующий за ним второй уровень, лежащий по свободной энергии выше исходного на величину $-A = \Delta\varphi^{\text{I}-\text{II}}$ по количеству затраченной работы, является «уровнем задачи», заключающим набор возможных Z исходов, из которых один должен реализоваться при решении информационной задачи¹. Как было показано в главе III, это решение идет всегда с затратой работы. Поэтому тре-

¹ Термодинамические величины, относящиеся к информационному процессу, будут обозначены индексом I , а логические — индексом L .

тий — «уровень решения», представляющий реализацию одного из исходов, например i -того, для информационного процесса всегда выше на величину $\Delta\varphi_i^{III-II}$ сравнительно с уровнем задачи.

Общая затрата работы и отвечающее этому *повышение свободной энергии* при получении информации, считая от исходного уровня материала, равняется сумме этих двух работ и составляет

$$|\Delta\varphi_I| = (\Delta\varphi_I^{I-II} + \Delta\varphi_I^{II-III}) > 0. \quad (VII.10)$$

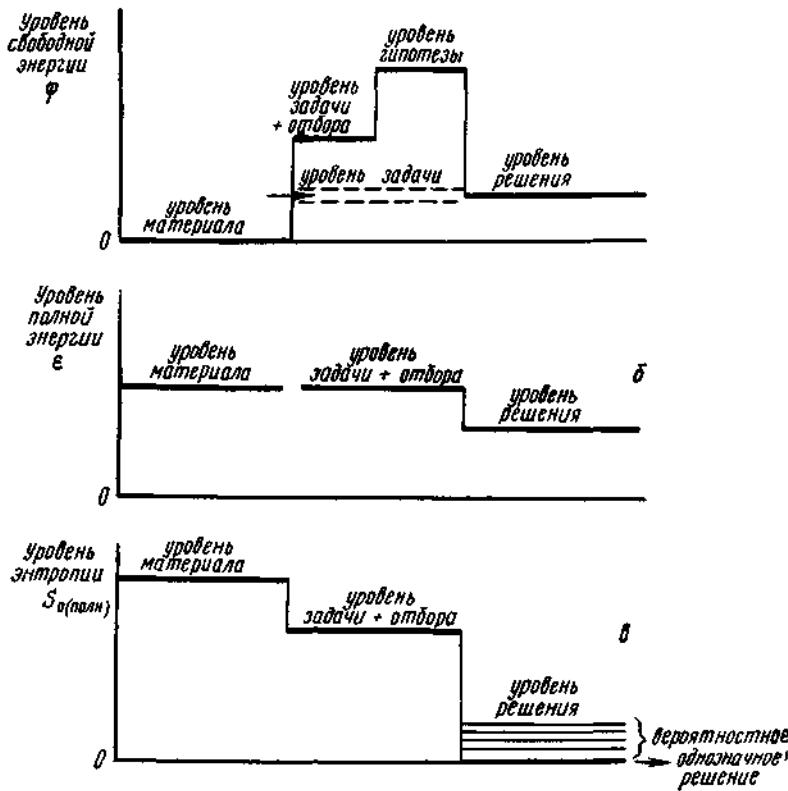


Рис. 23. Полный термодинамический путь процесса мышления

Таким образом, изменение свободной энергии в процессе информации изобразится двумя поднимающимися ступенями над уровнем исходного материала; так как полная энергия при информационном процессе остается постоянной (см. гл. III, горизонтальная прямая на рис. 22, б), то изменение энтропии будет обратно изменению свободной энергии и изобразится двумя спускающимися ступеньками (рис. 22, в), как бы зеркальным изображением рис. 22, а

$$\Delta H_I = -(\Delta H_I^{I-II} + \Delta H_I^{II-III}) < 0, \quad (\text{VII.11})$$

так как $\Delta H = -\Delta\varphi$.

Термодинамический путь мышления

На рис. 23, *a*, *b*, *c* изображен термодинамический путь логической задачи. Исходный «уровень материала» остается тем же. Следующий второй уровень представляет «уровень задачи», включающий отбор исходных данных, который делает возможным постановку и решение этой задачи. В главе IV это решение было символизировано частицами Z сортов, способными самоизвольно переходить в один определенный k -тый сорт. Уровень задачи лежит выше уровня материала на величину $(-\Delta\varphi_L^{II-III})$, выражающую работу создания логической задачи, включающей, как уже говорилось, отбор исходных данных, а также установление алгоритма для их переработки

$$|\Delta\varphi_L^{I-II}| = -(\varphi_L^I - \varphi_L^{II}); \quad |A_L| = -\Delta\varphi_L^{I-II} > 0. \quad (\text{VII.12})$$

Поскольку «частицы-шансы» по условию логической задачи способны *самоизвольно* переходить в конечные k -частицы (в чем уже заключен нужный алгоритм), то уровень решения по свободной энергии лежит ниже уровня задачи на величину, обозначенную ранее (см. гл. IV) через L . Таким образом, затрата работы сознания на постановку и решение логической задачи составит

$$A_L = -\Delta\varphi_{L \text{ (решение)}} = (\varphi_L^I - \varphi_L^{II}) + L < 0. \quad (\text{VII.13})$$

Следовательно, уровни свободной энергии при решении логической задачи располагаются в ряд

$$\varphi_{L \text{ материал}}(n) < \varphi_{L \text{ задача+отбор}}(n) > \varphi_{L \text{ решение}}.$$

Как видно, при решении логической задачи сознание всегда сталкивается с одним суммарным энергетическим барьером «задача+отбор».

На рис. 23, *b* показаны изменения полной энергии при логическом процессе: переход от исходного уровня к уровню задачи изоэнергетичен, так как отдельные исходные данные (отобранные «частицы-шансы») существуют в том же состоянии, как на неупорядоченном уровне I, так и в отобранном упорядоченном состоянии, на уровне II. Их отбор и перенос на уровень II требует затраты работы, но не меняет их обобщенной полной энергии. Переход же от уровня задачи к уровню решения уже не изоэнергетичен, так как при этом все исходные «частицы-шансы» превращаются в один определенный k -сорт с падением полной энергии (см. гл. IV).

На рис. 23, в изображены изменения энтропии при логическом процессе. Исходный неупорядоченный уровень материала, естественно, характеризуется высоким значением энтропии, которая уменьшается при переходе на уровень задачи. Так как здесь $\Delta\varrho=0$, то

$$\Delta H_L^{I-II} = \Delta S_L^{I-II} = -\Delta\varphi_L^{I-II}. \quad (\text{VII.14})$$

Переход с уровня задачи на уровень решения, как было показано ранее, сопряжен с дальнейшим падением энтропии относительно уровня задачи на величину G , даваемую уравнением (гл. IV)

$$G = \Delta H_L = H_{\text{Шеня}} + \Delta H^0 = \sum_i p_i \log p_i + \Delta H^0.$$

При этом энтропия полученного решения для строго логической задачи *точно доходит до нуля*. Если же решение имеет вероятностный характер, его энтропия не достигает нулевого уровня (см. пунктирные уровни на рис. 23, в).

В противоположность этому (см. гл. III) при решении информационной задачи может достигнуть нуля только *информационная* энтропия, но не термодинамическая S , так как сам физический предмет информации не может быть лишен энтропии.

Кривые рис. 22 и 23 демонстрируют принципиальное отличие информации от мышления: уровень решения логической задачи (уровень второй на рис. 23, а, б) может быть термодинамически неустойчив относительно уровня материала, но он всегда устойчив относительно уровня задачи, т. е. относительно своих посылок. В противоположность этому решение информационной задачи термодинамически неустойчиво относительно всех других уровней — уровня материала и уровня задачи.

Система энергетических уровней свободной энергии на рис. 23, а может быть неограниченно продолжена слева направо, так как полученное решение входит как некоторый новый элемент в тот материал, который может быть использован для решения следующей задачи со своим уровнем и т. д. Тогда последовательные уровни материала изобразятся как повышающиеся ступени по мере решения новых задач.

Однако в действительности далеко не всякое решение задач *непосредственно* увеличивает организованность материала, поднимая уровень его свободной энергии и снижая уровень энтропии (рис. 23, б). В качестве показательного примера можно вспомнить, что решение Планком задачи распределения энергии в излучении черного тела путем введения кванта действия \hbar привело сначала к сильной дезорганизации материала физики. Аналогичное действие первоначально имел опыт Майкельсона — Морли.

Проведенный анализ относится только к решению строго ло-

гических, т. е. саморешающихся задач, решение которых представляется в виде термодинамически неизбежного спуска к совершенно определенному уровню решения, который всегда лежит ниже уровня задачи.

Расширим проблему в область формальнологически нерешаемых задач. Представим по-прежнему, что от уровня материала мы поднялись до уровня задачи, но логические операции над отобранными данными не приводят к решению задачи. Это весьма частый случай в области естествознания, и недаром говорят, что большинство фундаментальных уравнений теоретической физики не выведены, а открыты. С такой проблемой столкнулся М. Планк (см. выше), Д. И. Менделеев при построении периодической системы элементов, Л. Де-Бройль при выводе своего известного уравнения и т. д. Во всех этих случаях к поставленным задачам и отобранным данным присоединяется некоторое логически необязательное допущение, лежащее вне наличного опыта — гипотеза (в виде кванта действия, универсального соответствия между атомным весом и химическими свойствами элементов и т. д.). Этот новый «уровень гипотезы» термодинамически всегда лежит выше уровня самой задачи, поскольку переход с уровня задачи на уровень гипотезы никогда не происходит самопроизвольно, т. е. не вытекает с логической необходимостью из «задачи и материала»: здесь — догадка, интуиция, иногда формальный поиск нужной функции (уравнение излучения черного тела М. Планка). Переход же с уровня «задача + отбор + гипотеза» на уровень решения происходит уже логическим путем, т. е. термодинамически самопроизвольно с падением свободной обобщенной энергии. Следовательно, термодинамический путь таких физических задач, которые можно назвать логическими задачами 2-го рода, выражается диаграммой, изображенной на рис. 23, а. Это самый важный и распространенный случай мышления, когда сознание сталкивается не с одним барьером в виде «уровня задачи+отбора», а с двумя благодаря добавлению «уровня гипотезы». Уровень гипотезы не фиксирован относительно уровня задачи, и поэтому в виде широкого правила, при обогащении материала новыми данными и развитии теории, уровень гипотезы сливаются с уровнем задачи, и задача преобразуется в чисто логическую, в задачу 1-го рода. Так, например, гениальная гипотеза Менделеева после определения ядерного заряда элементов (их порядкового номера) и строения электронных оболочек трансформировалась в логически решаемую задачу, но не нужно забывать — уже после создания периодической системы; аналогично теорема Нернста — Планка из самостоятельного постулата гипотезы превратилась в частный случай статистики Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна, гипотезы-постулаты Бора логически вытекли из уравнения Шредингера и т. д. Таким образом, чисто логическая задача 1-го рода представляет частный случай более общей задачи — 2-го рода.

Об интуиции

Наряду с логическим решением задач существует их интуитивное решение путем *непосредственного усмоктения* результата — истины. Интуитивное мышление (мы его немного коснулись в гл. IV) продолжает оставаться загадкой, несмотря на усилия крупнейших мыслителей на протяжении больше чем двух тысячелетий.

Но наряду со своей загадочностью интуиция является не менее универсальной способностью сознания, чем дискурсия, логика. Их главное отличие в том, что мы *знаем*, при каких условиях можно с успехом применять логику, и она *всегда* к нашим услугам. По отношению к интуиции мы *находимся* в ином положении — она *не всегда под руками*, когда это нужно, и часто приходит *неожиданно* в результате какой-то скрытой подготовки, в форме *наития*. Но несомненно должен существовать общий механизм для осуществления столь общей способности.

Здесь уместно вспомнить о той двух- или даже трехслойности барьера, с которым встречается логическое решение задач 1-го и 2-го рода: это — «задача — отбор — гипотеза». Нужно считать, что при интуитивном решении этот барьер может проходиться особым образом — быть «разрезанным» по «уровню задачи», т. е. пройден по туннельному механизму сразу к уровню решения (рис. 23, а).

Такие туннельно-интуитивные решения, как правило, должны быть наиболее доступны в тех случаях, когда уровень задачи близок к уровню решения и главная часть барьера находится на уровне отбора. Последний уровень доступен широкой вариации: для некоторых нужен большой материал, для других — минимальный. У этих людей Фотбор «*задача*», т. е. при самой постановке задачи скрыто совершается минимально необходимый отбор материала, в том числе решающих операций. Таким, по-видимому, был индусский математик-феномен Рамануджан.

Минимизация необходимого материала несомненно принадлежит к *самым мощным методам при решении научных задач*. Вспомним, что для выяснения природы α-частиц Резерфорду путем примитивнейших опытов оказалось достаточно установить, что масса этих частиц больше двух, но меньше шести, и этим исключить все заряженные атомы, кроме гелия *He*.

Из области катализа примером такой минимизации материала может служить мультиплетная теория А. А. Баландина, для которой оказалось достаточной возможность без напряжения связей расположить молекулу бензола на гексагональной грани металлов платиновой группы.

В настоящей работе такой минимизацией является несовместимость законов тождества для мышления с законом энтропии для любых молекулярных множеств.

Возможно, что минимизация материала и является настоящей почвой для интуиции. Во всяком случае, потребность в обширном материале не свидетельствует о развитых интуитивных способностях.

Заметим, что туннельный переход от задачи к решению можно принимать не в переносном, а в прямом смысле слова, если предположить, что материальными участниками мышления являются сверхлегкие частицы (см. гл. X), сталкивающиеся с действительными энергетическими барьерами при мышлении и способными проходить их по туннельному механизму.

Второй весьма весомый вариант истолкования интуиции — компенсация недостатка материала с помощью гипотезы. Наряду с минимизацией материала это является вторым мощным средством научного исследования, и возможно даже, что их нужно считать эквивалентными, поскольку гипотеза всегда ведет к возможности экономии исходного материала для решения задачи. Таким образом, не входя в подробный разбор проблемы интуиции, все же можно на основе проделанного анализа выставить некоторые новые положения для того, чтобы лучше понять эту фундаментальную способность сознания и, может быть, сделать ее доступной усовершенствованию и тренировке.

Характер работы мозга и сознания на постоянном термодинамическом уровне

Сознание обладает способностью систематически создавать на основе вырожденного и не вполне упорядоченного материала упорядоченные образования в виде задач и гипотез с повышенной обобщенной свободной энергией и пониженной энтропией и выдавать точно кодированные решения. Но термодинамически самопроизвольными и в специальном, и в обобщенном смысле могут быть только процессы, идущие с *понижением свободной энергии* и соответственно с *повышением энтропии* при условии постоянства полной энергии. В действительности же в сознании идет множество процессов с понижением энтропии и с повышением свободной энергии. Такие процессы не могут быть самопроизвольными в пределах обычных термодинамических параметров и возможны только при сопряжении с другими процессами, идущими с падением свободной энергии и увеличением энтропии.

Это означало бы, что с каждым актом организации сознания в результате решения информационных и логических задач 1-го и 2-го рода должен быть сопряжен акт дезорганизации этого сознания, сопровождающийся по меньшей мере таким же увеличением обобщенной энтропии и падением свободной энергии.

Такое термодинамическое сознание будет находиться на *постоянном среднем уровне организации*, т. е. обобщенной энтропии, независимо от своей мыслительной деятельности, а все его состояния будут не только изоэнергетичны ($e=\text{const}$), но и изоэнтропийны ($S=\text{const}$) и эквипотенциальны ($\phi=\text{const}$). Возникает важный вопрос: могут ли в таком «стабилизованном сознании» идти какие-нибудь процессы? Это не просто теоретический случай, так как именно такая стабилизованная психика свойственна животным и некоторым категориям психически больных людей. Поэтому здесь уместен более подробный анализ этого вопроса. Он дает положительный ответ: в таком сознании способны идти внутренние процессы, заключающиеся в периодическом перераспределении полной энергии между свободной энергией и энтропией, что можно выразить в виде равновесия

$$\phi \rightleftharpoons S \quad (\text{VII.15})$$

Можно дать модель термодинамического механизма, совершающего подобные преобразования энергии, который сам будет находиться на постоянном среднем уровне термодинамических параметров. Он может быть представлен, например, в виде цилиндрического сосуда объемом V , наполненного газом при давлении P с общим числом молекул n . Сосуд разделяется для простоты пополам массивным поршнем, обладающим большой инерцией. Переместив поршень справа налево (например, оттянув железный поршень магнитным полем), совершим изотермическое сжатие газа в объеме от V_2 до V'_2 и расширение объема

V_1 до V'_1 с затратой работы, равной увеличению свободной энергии системы при этой операции (рис. 24)¹.

Пусть

$$V'_2 = \frac{V_2}{\gamma} = \frac{V}{2\gamma} \quad (\gamma > 1), \quad (\text{VII.16})$$

$$V'_1 = V - \frac{V}{2\gamma} = V \left(\frac{2\gamma - 1}{2\gamma} \right). \quad (\text{VII.17})$$

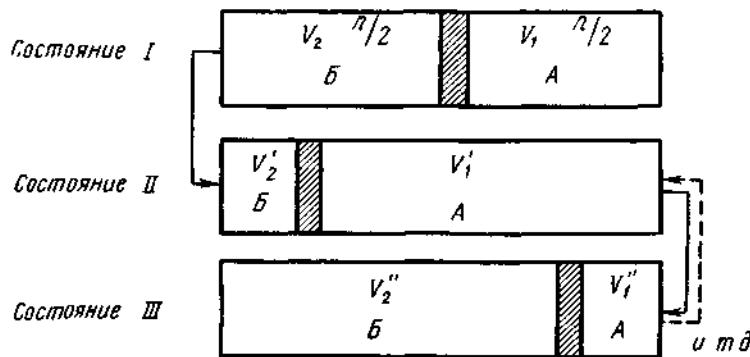


Рис. 24

Тогда свободная энергия начального состояния I будет

$$\varphi_1 = 2\varphi_1 = 2\varphi_2 = 2 \ln \frac{n}{V} + 2C$$

(C — аддитивная постоянная), а свободная энергия конечного состояния II выразится

$$\varphi'_2 = \ln \frac{n/2}{V/2\gamma} + C = \ln \frac{n}{V} + \ln \gamma + C, \quad (\text{VII.18})$$

$$\varphi'_1 = \ln \frac{n/2}{V \left(\frac{2\gamma - 1}{2\gamma} \right)} + C = \ln \frac{n}{V} + \ln \frac{\gamma}{2\gamma - 1} + C, \quad (\text{VII.19})$$

$$\varphi_{\text{II}} = \varphi'_1 + \varphi'_2 = 2 \ln \frac{n}{V} + \ln \frac{\gamma^2}{2\gamma - 1} + 2C \quad (\text{VII.20})$$

Работа перемещения поршня будет равна разности свободных энергий состояний I и II

$$A = \varphi_1 - \varphi_{\text{II}} = - \ln \frac{\gamma^2}{2\gamma - 1}.$$

¹ Здесь возможно использование и аднабатического процесса

(при $\gamma=1$ эта величина, как и требуется, превращается в нуль). Соответственное увеличение свободной энергии составит

$$\Delta\varphi = -A = \ln \frac{\gamma^2}{2\gamma-1},$$

а уменьшение энтропии

$$\Delta S = -\Delta\varphi = -\ln \frac{\gamma^2}{2\gamma-1}.$$

При этом внутренняя энергия останется постоянной $\Delta\varepsilon=0$. Если поршень, приведенный в положение II, отпустить (например, выключить магнитное поле, которое удерживает его в этом состоянии), то газ в объеме B начнет расширяться, а в объеме A сжиматься, и система придет снова в положение I. Но если инерция поршня, т. е. его масса, велика, трение о стенки пренебрежимо мало и теплообмен со средой устанавливается практически моментально, то возникнет колебательная система, поршень будет длительно совершать колебания около положения равновесия наподобие маятника. Каждое колебание поршня будет сопровождаться перераспределением полной энергии газа между свободной и энтропийной частью по уравнению (16).

Для колеблющегося маятника аналогично совершается перераспределение энергий между потенциальной и кинетической $E_{\text{кин}} \rightleftharpoons E_{\text{пот}}$. Маятник часов не совершает внешней работы, но лишь регулирует ход стрелок, движущихся за счет раскручивания пружины или опускания гирь, и этим выдает определенную информацию о времени. Термодинамическая колебательная система также не будет совершать внешней работы и поэтому не будет входить в энергетический баланс организма и нарушать его. Но так же, как часовой маятник, она будет совершать работу информации: действительно, поскольку положение поршня будет менять соотношение частей цилиндра A и B , то все состояния от II до III будут отличаться по φ и S , а состояния, отличающиеся по этим параметрам, будут отличны и в информационном смысле (см. также гл. III о парадоксе Гиббса).

Чтобы описанная система могла совершать незатухающие колебания, она должна заключать в себе источник энергии, компенсирующей потери при колебании. Тогда получится устойчивая автоколебательная система, обладающая достаточно высокой добротностью. Такая простейшая автоколебательная термодинамическая система будет длительно и регулярно повторять свое состояние. При своем движении поршень может замыкать и размыкать ряд механических или биологических контактов, вмонтированных в стенки цилиндра, и этим включать и выключать определенные периодически действующие энергетические системы организма, например: сердце, дыхание, перистальтику и т. п. Регуляция этих функций представляет вид *информационной за-*

дача нейрофизиологического уровня, и, как видно, она может быть решаема механизмами, находящимися на постоянном среднем уровне своих термодинамических параметров с относительно небольшой затратой энергии, расходуемой на поддержание самого этого механизма, т. е. его потерь. Всякая задача, взятая от «уровня материала», как известно, требует затраты обобщенной работы и остается в памяти или в символической записи на повышенном энергетическом «уровне решения». Но в описанной колебательной системе решение периодически появляется и исчезает, т. е. в таком виде эта машина лищена устойчивой памяти. Чтобы она выдавала продукцию в виде закрепленного решения информационной задачи, необходимо часть свободной энергии ф колебательной термодинамической системы тратить на молекулярное решение информационной задачи (см. гл. III). Для этого можно приключать к термодинамической системе в интервале от *A* до *B* небольшие информационные емкости разных сортов, например, разных форм, нумераций и т. п., в которые будут отбираться небольшие пробы газа «частиц-шансов» под давлением, отвечающим давлению в данном месте цилиндра.

При оценке этой информации возникает фундаментальное различие между символической человеческой информацией и соматической сигнальной информацией животных. Для человеческого сознания интенсивность информации не имеет значения, т. е. безразлично, сколько «частиц-шансов» будет отобрано в каждую емкость. Важно, что данная емкость заполнена некоторым числом этих частиц — различие может быть задано символически в виде формы этой емкости, ее цвета, нумерации и т. п. Это аналогично тому, что для человеческого сознания безразлично, с какой интенсивностью отпечатан текст, лишь бы его интенсивность превышала уровень фона, т. е. того листа бумаги, на котором он отпечатан. Поэтому человеческий мозг и сознание расходуют мало энергии на единицу информации.

Наоборот, для животного интенсивность информации физико-химического сигнала играет очень большую, часто решающую роль, и поэтому его мозг вынужден отбирать в информационные ячейки значительные порции «шанс-газа», а вместе с этим и свободной энергии. Это только частично компенсируется большей острой соответствующих органов чувств — анализаторов (зрения, слуха, обоняния), тем более что у многих животных они весьма специализированы.

Полная невосприимчивость животных к символической информации настолько загружает их анализаторы в естественных условиях, что практически поглощает всю их психику, заполненную восприятиями и анализом звуков, цветов, запахов и оценкой их интенсивности и направленности.

Безэнтропийная символика, выработанная человеком, в огромной степени освобождает его сознание для деятельности более высокого уровня — логической, конструкторской, изобретатель-

ской, общественной, художественной и т. п. Электронные машины еще более разгружают его от чисто информационной работы.

Описанная термодинамическая машина способна лишь к повторению набора информационных операций и совсем не способна к логическому мышлению, требующему кроме затраты работы на этапе «материал — задача» еще подвода отрицательной энтропии на этапе «задача — решение».

Этот автоколебательный, термодинамический механизм, конечно, только эквивалентная схема некоторых действительных автоколебательных механизмов нейронной схемы, о конкретной природе которых нужно предоставить судить нейрофизиологии. Но целесообразность таких механизмов, осуществляющих процесс жизнедеятельности (уравнение (16)), несомненна, так как они автоматически поддерживают в организме ритмические процессы и дают информацию об их нарушении. Подобные колебательные системы в нейронных цепях обнаружены у многих животных, у которых они регулируют ритмические и вообще периодические процессы (ритмы сердца, хождения, плавания, полета и проч. [1]).

Булдридж приводит интересный пример нейронной колебательной цепи, управляющей сердцем омура. Цепь, состоящая из девяти нейронов, соединенных в кольцо, генерирует периодические электрические импульсы, управляющие сокращением сердца. Это кольцо помещено прямо в сердце омура. Его можно, не повреждая, выделить из только что убитого омура и присоединить к измерительным приборам. Оказывается, что выделенная нейронная цепь продолжает генерировать около 60 импульсов в минуту в течение многих часов после изъятия из сердца омура.

Внешне подобное явление можно определить как «биологическую сверхпроводимость», но возможно, что и по существу нейронная цепь обладает в некоторой мере свойствами сверхпроводника, т. е. металлического проводника при очень низкой температуре ($\sim -270^{\circ}\text{C}$).

Судя по статье Пекелиса [2], идея о сверхпроводящих свойствах нервов была уже высказана в рукописи Б. Б. Кажинского, где он пишет, что «ряд весьма тонких измерений и сложных расчетов», проделанных им под руководством А. В. Леоновича, привел к выводу, что живой проводник — нерв «очевидно обладает сверхпроводимостью».

Однако в опубликованной книге Кажинского [3] я не нашел ссылки на измерения и расчеты в этом направлении.

Хотя в системе мозга может образоваться достаточно много описанных термодинамических механизмов, они могут лишь расширить цикл повторяющихся состояний, но не способны разомкнуть эти циклы и превратить их в единое направленное, векторизованное действие (мысли, психики, воли).

Цикличность информации, не выходящая за границы стандартных филогенетических построений и инстинктов, запрограммированных в генетическом коде, — типичная и основная черта жизни животного и его психики, которая вращается в узком круге повторяющихся явлений.

Такая термодинамическая машина, выражаяющая циклическую деятельность мозга и психики на постоянном среднем уровне их термодинамических характеристик e , ϕ и S , моделирует, в приближенном и огрубленном виде, устоявшуюся и неразвивающуюся психику животного.

Подобное обращение в круге повторяющихся упорядоченных и беспорядочных состояний может возникнуть и у человека при

некоторых психических заболеваниях (мономании, мозговых травмах, опьянении, отравлении наркотиками), когда сознание неспособно осуществлять направленную логическую деятельность. Но нормально действующее сознание неотделимо от этих функций, и, следовательно, оно способно постоянно производить логическую продукцию и ставить логически решаемые задачи 1-го и 2-го рода с пониженной энтропией и повышенной свободной энергией *без компенсирующего повышения собственной энтропии и понижения собственной свободной энергии*.

Наоборот, производство сознанием организованной продукции, как правило, понижает энтропию самого сознания, организует и упорядочивает его, повышая его свободную энергию, т. е. способность понижать энтропию тех систем, к которым оно прилагается. Следовательно, логическая работа сознания, выражаясь в создании на основе даваемого материала логических задач 1-го и 2-го рода, *не подчиняется обобщенному принципу возрастания энтропии*. Наоборот, в нем осуществляется самопроизвольный процесс антиэнтропийного характера, идущий *обратно* самопроизвольным процессам в мертвой природе¹. Вместе с тем клеточный биохимический аппарат мозга и вся нейронная сеть постепенно стареют, увеличивая свою молекулярную энтропию. Нельзя понять такую устойчивую работоспособность и продуктивность мозга, не допустив определенного компенсирующего процесса в виде подвода *отрицательной энтропии* — единственного фактора, способного без затраты работы понижать энтропию мыслящей системы вплоть до нуля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вулдридж Д. Механизмы мозга. М., «Мир», 1965
2. Пекелис В. «Смена», 1968, № 4, 21.
3. Кажинский Б. Б. Биологическая радиосвязь. Киев Изд-во АН УССР, 1962.

¹ Напомним здесь мысль Бриллюэна, цитированную в главе IV.