

План последующих выпусков серии:

Выпуск 1. *А. М. Хазен.* Происхождение и эволюция жизни и разума с точки зрения синтеза информации.

Биофизика. 1992 г.

Выпуск 2. *А. М. Хазен.* О возможности радиационной передачи нервных импульсов.

Биофизика. 1990 г.

Выпуск 3. *А. М. Хазен.* Формализация описания эволюции жизни и разума на основе принципа максимума производства энтропии и обобщенных сил аналитической механики

Доклады РАН. 1993 г.

Выпуск 4. *А. М. Хазен.* Принцип максимума производства энтропии и движущая сила прогрессивной эволюции жизни и разума

Биофизика. 1993 г.

Выпуск 5. *А. М. Хазен.* Почему самопроизвольно возникает и прочитывается генетическая информация

Выпуск 6. *А. М. Хазен.* Особенности синтеза информации при действии электромагнитного излучения на биосистемы и их практические следствия

Доклады РАН. 1993 г.

Выпуск 7. *А. М. Хазен.* Обобщенная энергия и информация

Техническая кибернетика. 1993 г.

Выпуск 8. *А. М. Хазен.* Принцип максимума производства энтропии и формализация понятия истинности аксиом

Техническая кибернетика. 1993 г.

Подписка принимается по адресу:
111539 Москва. До востребования. Анисову Е. Г.
телефон (095) 375-64-78

Теоретическая биология

Подписная
серия
переизданий
статей из
журналов РАН
и оригинальных
публикаций

Выпуск 4

ХАЗЕН А. М.

ПРИНЦИП МАКСИМУМА ПРОИЗВОДСТВА АНТРОПИИ И ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРОГРЕССИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЖИЗНИ И РАЗУМА

„РУСИНА“
Москва – 1993

© 1993 г. ХАЗЕН А.М.

ПРИНЦИП МАКСИМУМА ПРОИЗВОДСТВА ЭНТРОПИИ И ДВИЖУЩАЯ СИЛА ПРОГРЕССИВНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Жизнь и разум не используют в качестве основы непосредственный обмен информацией – обязателен предварительный процесс синтеза информации. Исходя из этого и используя общепринятые обобщения понятий сил и потоков аналитической механики, можно формализовать математическое описание эволюции жизни и разума на основе принципов максимума производства энтропии, формирующего устойчивый поток (устойчивое нарастание возмущений), стационарные состояния для которого локально управляются принципом минимума производства энтропии И. Пригожина. Дарвиновская борьба за существование описывает только пригужинскую часть процессов, но не учитывает следствия аккумуляции избыточной энергии, имеющей причиной отсутствие энтропии в качестве независимой переменной свободной энергии, используемой при метаболизме. Обобщенная сила в механизмах эволюции имеет разные знаки по отношению к долговременной генетической памяти и быстрым процессам локальной самоорганизации. Вместе с иерархичностью энтропий, являющейся отличительной особенностью эволюции жизни и разума, это задает решающую роль симбиоза (в широком смысле) для эволюции. Онтогенез обязан повторить основные этапы филогенеза потому, что чтение генетической информации (как и ее первичный синтез) в силу отсутствия прямого информационного взаимодействия жизни с внешней средой осуществимо только путем перенормировки энтропии извне. Парадоксы случайностей в дарвинизме разрешаются на основе обычных для механики понятий о мягком и жестком режимах установления стационарного состояния под действием обобщенной силы, причем классический дарвиновский отбор отвечает мягкому режиму, а парадоксы – жесткому, который может реализоваться не только во времени, но и в пространстве форм генетического кода. По отношению к разуму на этой основе можно сформулировать математически выраженное понятие об истинности аксиом, необходимое сегодня в связи с развитием ЭВМ; использующих элементы принципов работы мозга. Понятие сложности системы, ценности и незаменимости информации для жизни и разума принципиально не могут быть тождественными с используемыми в теории информации.

Сформулированные Л. Блюменфельдом в [1] проблемы биофизики и роли в ней термодинамики, несмотря на большое время после выхода этой работы, продолжают играть важную стимулирующую роль. Несомненно, что (как и отмечается в [1]) не может быть какой-то особой «биологической термодинамики», но было бы странным, если бы результаты Л. Больцмана замкнулись на связях тепла и работы. Тем более, что эти ограничения сняты не только обобщениями А. Эйнштейна, но и введением К. Шенноном энтропии как меры информации, и прямым указанием в работах Л. Сцилларда на тождественность больцмановской и шенноновской энтропии. Еще в 1935 г. Р. Фишер подчеркивал, что дух и идеи информации вырастают из понятия беспорядка или энтропии в термодинамике и статистической механике. Н. Винер предложил рассматривать информацию как новую физическую переменную. Такая трактовка энтропии последовательно проводится в работах Л. Блюменфельда и М. Волькенштейна, М. Эйгена.

Больцман поставил цель создать механическую теорию теплоты. Отвлекаясь от исторических подробностей, результат – теория, связывающая вероятности с классическим для всей науки обобщениями в аналитической механике понятий сил, потоков, энергии. Поэтому вероятностные процессы с любыми размерными эквивалентами могут быть описаны аппаратом термодинамики и его неравновесными и нелинейными методами.

Главное при термодинамическом описании жизни отражено в известной концепции [1] «белок – машина»: жизнь как термодинамическая система содержит подсистемы с временами релаксации, отличающимися на много порядков величины. Причина эволюции жизни в [1] отображена постулатом о решающей роли в эволюции биологического смысла: «имеет смысл просто потому, что случайно возникла система самовоспроизводящихся полимеров». Однако

(как будет подробно пояснено в § 7) формальное математическое описание любой задачи при существующей структуре науки в конечном счете должно сводиться к обобщенным силам и потокам в терминах аналитической механики. В частности, надо найти обобщенную силу, которая движет эволюцию жизни и разума — почему биологический смысл в виде самовоспроизведения должен превалировать над «бессмысленным» как отображением равновесия? — надо сформулировать и использовать постулаты, приводящие к возможности описания эволюции жизни и разума в терминах аналитической механики и их обобщений в термодинамике.

Именно в такой постановке задачи ответ на сформулированный выше вопрос (с учетом понятия о перенормировке энтропии, введенного в S -теореме Ю. Климонтовича [2], гиперциклов М. Эйгена [3] и работы Г. Кастлера [4]) был дан в работах [5–8]: движущая сила эволюции и работы мозга задается вторым началом термодинамики и конкретно принципом максимума производства энтропии ($d^2S < 0$) при минимуме ее самой ($d^2S > 0$), созданном перенормировкой энтропии под действием внешней среды с учетом условий, налагаемых алгоритмами химических превращений специфических соединений углерода (ясно, что при этом $dS = 0$ и $d^2S = 0$, что далее опускается).

Естественно, что возникает вопрос о соотношении этого принципа с общеизвестным принципом И. Пригожина — минимума производства энтропии ($d^2S > 0$) при максимуме ее самой ($d^2S < 0$). Ответу на этот вопрос в вытекающим из него следствиям в связи с эволюцией жизни и работой разума посвящена статья.

§ 1. Энтропия и второе начало термодинамики

Энтропия S определена как логарифм числа W возможных состояний системы при заданных условиях:

$$S = K \ln W \quad (1)$$

Возможные состояния системы отличаются друг от друга физическим или абстрактным признаком, который характеризует множитель K . Величина W может быть сложной функцией признаков и условий. С учетом этого определение энтропии (1) носит универсальный характер, а сама энтропия S может быть определяющей переменной существенно различных процессов. Одновременно определение (1) задает меру количества информации в системе при заданных признаках и условиях.

Например, для частного случая бальмановского газа признак есть величина энергии. Тогда в формуле для энтропии (1) величина $K = k$ (Дж/К) — постоянная Больцмана. Условия, налагаемые на состояния в этом случае, — равновероятность энергетических состояний, вытекающая из теоремы Лиувилля.

Величина энтропии Клаузиуса — Больцмана по определению характеризует количество информации, недостающее до полного описания системы. То есть величина энтропии — мера информации («объема таблиц», выраженного в специфических размерных единицах), знание которой позволило бы описать систему на уровне поведения индивидуальных атомов или молекул в газе (связанные с этим пояснения отложим до последних разделов статьи).

Если возможные состояния системы характеризует функция распределения $f(x, t)$, то определение (1) примет, например, вид

$$S(t) = -K \int f(x, t) \ln f(x, t) dx, \quad (1a)$$

причем в зависимости от конкретной формы K и характера осреднения при записи $f(x, t)$ выражение (1a) может описывать энтропию Больцмана или Шеннона, или Гиббса. В частности, на этой основе в [2] вводится функция распределения для энтропии. Это означает изменение признаков, учитываемых при определении возможных состояний системы. Но если исходить из (1), то введение дополнительных признаков состояний можно описать характерной для них энтропией, т.е. ввести иерархичность в описании системы.

При динамически неустойчивых движениях признаком является скорость разбегания траекторий. Мерой расхождений траекторий [2] будет K -энтропия Крылова — Колмогорова — Синая, равная сумме показателей Ляпунова: $S_k = \sum \lambda_i$, $\lambda_i > 0$, но сами λ_i выражаются через

логарифмическую функцию, и смысл (1) сохраняется, хотя W становится сложной функцией, разной для разных задач из этого класса.

В зависимости от вида функции W и множителя K энтропия может быть как субстанциональной, так и абстрактной переменной. Например, энтропия [6] при $W = \psi$ (комплексной функции ψ Шредингера) и $K = h$ (Дж·с) (постоянной Планка), имеющая вид

$$S = \int_{\Pi} L(\dot{x}, x, t) dt = h \ln \psi \quad (2)$$

где $L(\dot{x}, x, t)$ — лагранжиан системы, есть эталон субстанциональности — механическое

действие Мопертюи. При $K = 1 / \ln 2$ энтропия (1) становится мерой информации, выраженной в битах, — условной абстрактной переменной.

Поскольку энтропия определена через логарифмическую функцию, она (в том числе для ряда нелинейных задач) аддитивна. Однако гарантировать отсутствие исключений нельзя. Следствием аддитивности поэтому является только то, что для разных признаков и условий, входящих в определение энтропии (1), существует свой нуль при отсчете энтропии, в частности, возникающий как результат синтеза информации путем запоминания случайного выбора. Для множителей K в определении энтропии (1), которые отвечают разным признакам и условиям, можно записать уравнения связи. С учетом существования разных нулей отсчета энтропии это позволяет суммировать информацию при разной природе процессов или явлений, к которым она относится. В частных случаях соотношения для связи энтропий могут оказаться приближенными или даже не существовать. Тогда невозможность суммирования энтропий есть результат, свидетельствующий о несовместности аппарата описания физической системы.

Частным следствием аддитивности энтропии (информации) является возможность задать конечный предел увеличения энтропии, определив его, например, энтропией по Клаузиусу при заданных температуре и давлении.

То обстоятельство, что энтропия одновременно и физическая переменная, и мера информации, создает ее особенность. Синтез информации — это запоминание случайного выбора. До того как информация синтезирована, энтропия есть логарифмическая мера фактически реализуемых состояний системы — мера информации, недостающей до полного описания системы. Изменение энтропии в результате запоминания стало мерой устраненной запоминанием неопределенности — информацией о свойствах возникшего нового элемента системы. Нуль отсчета для энтропии можно выбирать, однако, разными способами, поэтому знаки изменения энтропии зависят от специфики постановки задачи.

В системах с двумя временами релаксации, отличающимися на много порядков величин (к которым относятся жизнь и разум), запоминание приводит к фактическому элементу, например, в виде ДНК. Для гомогенной по порядкам времен релаксации системы элементом становится динамический объект в фазовом пространстве, например, характеризующийся странным аттрактором Лоренца. Для энтропии с аргументом в виде функции Шредингера ψ материализуется величина и форма объема в шестимерном фазовом пространстве координат и импульсов при внутри- и межатомных взаимодействиях.

Дополнительные условия j , налагаемые на взаимодействия элементов системы, которые характеризовались условиями i , приводят к неравенству для энтропий

$$S_i > S_{ij}. \quad (3)$$

Соотношение $S_i = S_{ij}$ имеет место при случайных изменениях условий j равновероятно во всем диапазоне возможных значений. (Подробнее о классических свойствах энтропии см., например, [9].)

Существование разных нулей отсчета для энтропии и есть то, что отображает важнейшее условие самоорганизации динамических систем: забывание системой своего прошлого после того, как произошел синтез информации. Условие (3) определяет уменьшение количества информации внутри ступеней иерархии по мере их роста. Например, как показал впервые Л. Блюменфельд в [1], количество информации, необходимой для создания из отдельных клеток человека, составляет всего $\sim 10^9$ энтропийной единицы для газов.

В самом универсальном определении энтропии (1) не отражено, что число возможных состояний системы может подсчитываться как для индивидуальной реализации (картливое количество информации), так и для максимума вероятности состояния системы (больцмановское количество информации). В этой статье речь идет о последнем случае.

Определение бальмановской информации (энтропии) всегда связано с вариационной задачей определения максимума вероятностей, решение которой приводит к множителям Лагранжа [10]. Например, для газов такой множитель связан с понятием температуры, выраженной в энергетических единицах, и имеет форму $\beta = 1 / k T$. Признаки и условия в определении (1) могут носить произвольный характер, но для бальмановской информации существует точный аналог энергии системы, размерность которого может не совпадать с размерностью энергии (в том числе может быть и безразмерной) и определяться обратной размерностью β . Это значит, что для бальмановской информации существует тождественное механическое описание на основе энергии со свойствами потенциала, сил, характеризующих множителями Лагранжа, и количеств в виде самой энтропии. Неопределенность включения множителя K либо в множители Лагранжа, либо в энтропию устраняется волевым соглашением, которое в разных работах может быть разным. Для неустойчивых систем, описываемых K -энтропией, существование странного аттрактора Лоренца означает возможность получить энтропию с бальмановскими свойствами максимума вероятности.

Свойства энтропии постулирует второе начало термодинамики, которое по аналогии с энтропией по Клаузиусу можно сформулировать в виде одной из составляющих трех аксиоматических утверждений [6,7], обычно называемых началами термодинамики.

1. Существует энтропия (1) как мера в пределах заданных признаков и условий количества информации для наиболее вероятного состояния физической или абстрактной системы из

многих элементов. Физическая система, не содержащая информации о себе самой, не может реализоваться. Процесс синтеза информации задает границу между областью, в которой энтропия есть мера информации, недостающей до полного описания системы, от области, где энтропия есть собственно информация о системе.

2. Самопроизвольные процессы в системах из многих элементов направлены в сторону максимума энтропии, т.е. максимума количества информации, необходимого для описания индивидуальных элементов системы при заданных признаках и условиях, определяющих энтропию (1).

3. Энтропия может суммироваться при разных входящих в нее признаках и условиях, учитывая уравнения связи их между собой. Для любых входящих в определение (1) энтропии признаков и условий существует зависящий от них нуль отсчета энтропии.

Ясно, что второе начало термодинамики по Клаузиусу есть частный случай пункта 2 сформулированных выше аксиом. Роль первого начала в ней выполняет пункт 1, а пункт 3 есть аналог тепловой теоремы Нернста (третьего начала термодинамики).

Как подчеркивалось в [6, 7], второе начало термодинамики по Клаузиусу есть не аксиома, а доказанные теоремы. Сегодня нет реализаций второго начала термодинамики, не имеющих строго доказательства его справедливости. Но универсальность определения энтропии (1) заставляет сохранять за утверждениями пункта 1 – пункта 3 статус аксиомы.

§ 2. Открытые термодинамические системы в классической форме

Обычно под открытой термодинамической системой понимают такую систему, которая может обмениваться с окружением массой и энергией. Широко известный классический пример открытой системы – топка печки в комнате [10], когда обмен массой (щели в окнах) и энергией (дрова в печке) при изобаричности процесса дают постоянство связанной энергии $T S$ в комнате и повышение температуры T за счет понижения энтропии S . Не менее известно, что в целом изобарическая атмосфера Земли сохраняет постоянную энтропию, а излучение Солнца (аналогично примеру с печкой) понижает ее энтропию. Это интерпретируют как получаемый Землей поток неэнтропии. Э. Шредингер считал, что свойства потока неэнтропии можно обобщить на организмы или комплексы организмов, находящиеся в стационарных состояниях: поглощаемая ими неэнтропия и есть причина жизни. Однако аналогия с печкой в комнате как раз свидетельствует о том, что поток неэнтропии не может иметь специфического значения для возникновения и существования жизни, поскольку (во всяком случае для биосферы в целом) конечный результат энергии к газу и живым системам одинаков.

Поскольку энтропия является мерой количества информации, то классические открытые системы характеризуются тем, что в них происходит изменение количества информации в зависимости от знака и величины потоков энергии и массы. В частности, цикл Карно тепловой машины есть взаимное преобразование количества информации dS в физической системе и внешней работы $p dv$. Ведь общеизвестно, что рабочая составляющая цикла Карно, равная [11] изменению тепловой энергии рабочего тела в изотермическом процессе при большей температуре цикла $T_{1,2}$, есть

$$T_{1,2}(S_2 - S_1) = \int_1^2 p dv,$$

где p – давление и v – объем.

Таким образом, классические открытые системы характеризуют главным образом взаимодействие энергии и количества информации.

Как известно, в живых системах не наблюдается разности температур порядка 100 К, необходимой для обеспечения КПД энергетических процессов порядка 25%. Достоверно, что преобразование тепла в работу не есть способ подвода энергии при метаболизме. Поэтому глобально в живых системах нет обмена между энергией и информацией или потоков непосредственно информации извне, которые бы сами по себе играли существенную роль в процессах жизни (исключая диссипацию энергии). Именно так! Ни глаза, ни уши, ни прочее не получают извне собственно информацию: человек и любые виды живого не имеют органа или системы для непосредственного ощущения энтропии. Косвенно ее восприятие было бы

¹ Парадоксальность продолжает исключение: осязательным является действие Мопертюи, то есть энтропия (2), аргумент которой есть функция Шредингера ψ (макроскопически фаза, как в оптике, усредняется). Поэтому ближе всего к прямому обмену информацией с окружением оказывается (традиционно считающаяся нематериальной, абстрактной) функция ψ . Глобально именно это есть первопричина объективности познания человеком окружающей природы. Прямой обмен семантической информацией с окружением реализуют экстремумы обобщенных термодинамических потенциалов.

возможно, если бы не количественные ограничения, поясненные в [6]. Для процессов генетической памяти и чтения информации, при метаболизме, работе мозга и органов чувств обмен информацией с окружением обязательно должен быть предварен процессом синтеза информации [6, 7]. Дополнительные к изложенному в [6, 7] обоснования этого даны далее в статье. Этот парадокс – важнейшая особенность всех форм жизни и работы разума¹.

В качестве решающего отличия энергетики жизни от тепловой машины достоверно установлено, что она использует электрохимические термодинамические циклы (что показал П. Митчелл [12]). При этом живые системы используют не внутреннюю энергию (как тепловая машина), а свободную энергию F – термодинамический потенциал, дифференциал которого (с учетом химической и электрической энергии) равен

$$dF = -SdT + vdp + EdD - \sum_i n_i d\mu_i \quad (4)$$

Химическая энергия

$$\sum_i \mu_i n_i$$

(n_i – концентрации, μ_i – химические потенциалы) или фотоны в соответствии с результатами П. Митчелла приводят к разделению электрических зарядов. Поэтому для электрической энергии в (4) независимой переменной является индукция электрического поля D , а напряженность поля E – ее функция. Но принципиальная особенность свободной энергии в том, что энтропия S не входит в число независимых переменных задачи. Это означает, что взаимодействие энергии и количества информации, поступающих извне, не есть определяющее для процессов жизни и ее эволюции.

Названия термодинамическим потенциалам принято давать в функции от всех независимых переменных, поэтому, строго говоря, (4) – это свободная энтальпия. С учетом электрической и химической энергии вариантов названий становится, однако, так много, что везде далее пишется свободная энергия, подчеркивая отсутствие именно S в качестве независимой переменной. Для генетических механизмов главное – свойства вещества, т.е. независимой переменной должен быть химический потенциал μ_i . Кстати, предствление о том, что жизнь есть изобарическая система, не всегда точно: перемещая при метаболизме и чтении [5] генетической информации является не внешнее давление p и объем v , а заменяющие их в (4) механические напряжения σ и сопряженные с ними деформации ϵ .

В работе [7] использовалось понятие об алгоритмах химических превращений соединений углерода, ответственных за существование жизни. Конкретно эти алгоритмы выражаются принципом структурной комплементарности [13]: химические реакции в живых системах отличаются стремлением к отсутствию производства побочных продуктов; причем конечные продукты одних реакций могут использоваться в других последовательной цепочкой, число звеньев которой может доходить до 20. Принцип структурной комплементарности делает преимущественным рабочим телом для энергетических циклов жизни класс соединений – адениннуклеотиды, а среди них для большинства видов живого единственное вещество – аденозинтрифосфат (АТФ). Уникальные свойства АТФ и отсутствие энтропии в качестве независимой переменной для F делают энергетические циклы метаболизма по отношению к начальным и конечным состояниям практически полностью детерминированными процессами.

Конкурент производящих энергию циклов – диссипативные процессы. Они должны локально подчиняться принципу И. Пригожина минимума производства энтропии, т.е. диссипация произведенной в энергетических циклах энергии всегда минимально возможная. Поскольку энтропия не входит в число независимых переменных при энергетическом обеспечении жизни, процессы производства энергии и ее диссипации прямо друг от друга не зависят. Саморегулирующийся баланс получения энергии и ее диссипации невозможен. Превышение диссипации над производством энергии несовместимо с жизнью по элементарным соображениям. Случайное равновесие в этих процессах, если и возможно, то как единичная случайность. Поэтому живые системы сопровождают превышение производства энергии над ее диссипацией, а избыток энергии аккумулируется в виде «отходов» или функционально используемой массы, например, мышечной.

Это наблюдается на всех ступенях эволюции, для всех видов живого. Например, простейшие фотосинтезирующие прокариоты выделяют в качестве отхода кислород. Переход от голосеменных к покрытосеменным дает в ягодах и плодах огромную избыточность высококалорийных соединений, не нужных непосредственно для прорастания семян. Высшие растения потребляют распределенные по спектру кванты света, извлекают из почвы рассеянные в ничтожных концентрациях вещества, а в качестве отходов своего метаболизма, кроме кислорода, выделяют нектар – комплекс соединений углерода, близкий к максимуму для них энергонасыщенности.

Жизнь без механизма производства энергии для метаболизма существовать не может. Но как только на первых этапах возникновения жизни появляется такой механизм, он обязательно должен давать избыточность производства энергии по сравнению с потребностями в ней. Аккумуляция этой энергии приводит к выделению вещества, которые с точки зрения

абстрактной энергетической оптимальности абсолютно лишние. Происходящая при этом концентрация энергии в сочетании с принципом структурной комплементарности повышает вероятность использования «отбросов» или функционально полезного аккумуляирования (пищевая цепь) в качестве основы для синтеза новой генетической информации.

§ 3. Жизнь и разум как классы открытых систем, управляемых извне изменением нормировки энтропии

Задание признаков и условий для энтропии (1) не исчерпывается величиной и размерностью K . Неотъемлемой принадлежностью определения энтропии (1) являются условия нормировки для переменных, от которых зависит функция W . Их можно записать, например, в виде

$$\sum_{i=1}^M c_m(p_i) p_i = \epsilon_m, \quad (5)$$

где $c_m(p_i)$ — функции, являющиеся аналогом энергии бальмановской ячейки ($1 \leq m < M$), а ϵ_m — величина непосредственно энергии или ее эквивалента по отношению к признакам, учитываемым в (1).

Для всех вопросов, рассматриваемых в этой статье (как было подчеркнуто в § 1), энтропия должна описывать бальмановский максимум вероятности состояний системы. Обычная для термодинамики [10] постановка вариационной задачи определения энтропии (1) совместно с нормировочными условиями типа (5). Поэтому в результате решения вариационной задачи при заданных $c_m(p_i)$ можно по величине ϵ_m определить p_i и величину S энтропии (1).

Развитие бальмановского метода определения максимума вероятности, позволяющее по изменениям правой части нормировочных условий типа (5) найти отвечающее им изменение энтропии (1), известно в спектральном анализе (используемом, например, при обработке радиолокационных сигналов, распознавании образцов и прочем) под названием «метод максимальной энтропии» [14]. Проллюстрирую управление системой за счет изменения условий нормировки энтропии примером из [14] с игральной костью.

Для этого случая энтропию (1) можно записать в конкретном виде:

$$S = - \sum_{i=1}^6 p_i \ln p_i, \quad (6)$$

где p_i — вероятность выпадения одной из шести граней кости. Для идеально симметричной кости $p_i = 1/6$. Грани кости имеют признак — цену от 1 до 6, т.е. $c_i = i$. Тогда условие нормировки (5) примет конкретный вид:

$$\sum_{i=1}^6 i p_i = \epsilon_0. \quad (7)$$

Абстрактное число ϵ_0 в правой части (7) есть безразмерный аналог энергии (среднее число выпавших при каждом бросании очков). Легко проверить на основе (6) и (7), что для симметричной игральной кости $\epsilon_0 = 3,5$, а энтропия $S_0 = 1,79176$.

Если центр масс кости не совпадает с центром симметрии, то вероятности выпадения граней изменятся. Они неизвестны, количественных характеристик несимметричной кости нет, но, например, определено в эксперименте при достаточно большом числе бросаний кости, что среднее число очков (энергия в условии нормировки (7)) $\epsilon_0 = 4,5$. Метод максимальной энтропии [14] на этой основе позволяет однозначно определить энтропию (6) при новых условиях нормировки $S_0 = 1,61358$ и (теперь не равные друг другу) вероятности p_i выпадения граней кости. Причем приведенные в [14] обычные для вычисления бальмановской энтропии комбинаторные методы дают, что всего при 1 000 бросаний кости 99,99% исходов в интервале $\Delta S = 0,012$, т.е. состояние максимума энтропии детерминировано с высокой точностью. Напомню, что некоторые классические детерминированные законы (например, закон сохранения механической энергии) редко выполняются со столь высокой точностью. Кстати, существование такого детерминизма ранее было показано в [1], где ширина интервала ΔS задавалась точностью измерения температуры.

Приведенный выше пример показывает, что по заданной нормировке ϵ_0 энтропии S можно вычислить ее саму и вероятности p_i состояний элементов системы. При этом с (p_i) заданы: нормировка энтропии не может изменить игральную кость как объект, она только отображает его свойства.

Для метаболизма, работы мозга, записи и чтения генетической информации, эволюции жизни и разума существенно, что нормировка энтропии ϵ_0 в пределах заданного диапазона условий способна изменить функции $c_m(p_i)$ (индекс m далее опускается). Поясню это подробнее на примере энергетики метаболизма.

Специфика химических реакций учитывается в термодинамических соотношениях энергией

$$\sum_i \mu_i.$$

Конкретный вид реакции определяется уравнениями состояния, которые содержат, в частности, связи вида

$$\left. \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_j} \right|_a = \left. \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_j} \right|_{b}, \quad (8)$$

где $a \neq b$, а индексы, обозначающие постоянство остальных переменных, опущены. В силу термодинамических соотношений взаимности (8) Максвелла [10] система уравнений состояния всегда замкнутая, поэтому конкретный вид даже одной реакции в большинстве случаев определяет все остальные. Отсюда для «неживой» органической химии влияние изменения нормировки энтропии по своим результатам близко к случаю с игральной костью: функции с (p_i) связаны с уравнениями состояния и не могут измениться под действием изменения величины термодинамического потенциала, используемого в правой части (5).

Для энергетики метаболизма упоминавшийся выше результат П. Митчелла, в частности, утверждает существование промежуточного резервуара накопления энергии в виде энергии электрического поля трансмембранного потенциала $E D$. Само по себе добавление в термодинамический потенциал энергии электрического поля не может нарушить замкнутости системы уравнений состояния. Но релаксационная концепция катализа метаболических реакций [1] показывает (в частности, на экспериментальном материале [15]), что реализация энергетических циклов связана с существенной необратимостью.

Универсальность для химических реакций энергии электрического поля позволяет протекать неравновесному процессу, в котором изменение условий нормировки выбирает теперь уже из функционала с [$p_{i,j}$] функции, обеспечивающие максимум энтропии с учетом комплексов j условий на реакции и в окружающей среде.

Такое изменение затрагивает не только условия, но и признаки, учитываемые при определении энтропии, т.е. является синтезом информации. Поэтому *главное отличие жизни как открытой термодинамической системы в том, что внешняя среда взаимодействует с ее формами и процессами на основе синтеза информации путем изменения нормировки энтропии.*

При синтезе информации в ДНК ее начальное и конечное состояния равновесны. Поэтому само по себе изменение нормировки энтропии не может изменить ее как молекулу. Необходимо возмущение, переводящее ее в неравновесное состояние. Именно такую роль играет подвод энергии, вызывающий мутации¹ (пояснения в следующем разделе).

Поскольку синтез информации есть изменение признаков и условий в определении энтропии, обязательной особенностью синтеза генетической информации является иерархичность: каждый раз изменение признаков и условий создает локальный нуль отсчета энтропии. Новый k -й уровень синтеза информации возникает на основе функционала с [$p_{k,i,j}$], определяемого свойствами элементов предыдущего уровня иерархии. *Морфологически иерархичность — это все более укрупняющийся симбиоз.*

Иерархический ряд для энтропий как меры информации в [7] был записан в виде

$$S_n = S_0 + S_{110} + S_{210,1} + \dots + S_{n10,1,2,\dots,(n-1)}, \quad (9)$$

где энтропия k -го вида живого

$$S_k = S_{k, \text{ген}} + S_{k, \text{сам}} \quad (9a)$$

есть сумма меры генетической информации $S_{k, \text{ген}}$ и меры информации о процессах самоорганизации $S_{k, \text{сам}}$, для которых свойства элементов системы задает величина $S_{k, \text{ген}}$. Нелишне напомнить, что ряд (9) — ветвящийся, и в зависимости от конкретного n -го вида живого он может быть конечным (тупиковым). В силу условия (3) количества собственно генетической информации $S_{k, \text{ген}}$ убывают по мере эволюции жизни. Это наглядно демонстрирует приведенное выше из [1] количество информации, описывающее человека на клеточном уровне.

¹ Мутация — это результат неравновесного процесса, вызванного подводом энергии. Известно, что электромагнитное излучение миллиметрового диапазона длин волн достоверно влияет на процессы в ДНК. Поэтому могу предсказать, что действие электромагнитного излучения на ДНК обязательно может и должно вызывать комплекс селективных возбудителей в разных участках и элементах ДНК, такой, что станет возможным управление синтезом генетической информации: целенаправленное создание «мутаций», необходимых для синтеза информации, совместимой с заданными условиями внешней среды.

Воздействие на нормировку энтропии – одновременно и способ чтения генетической информации. Если при синтезе генетической информации необходимо «ждать», пока случайность в пределах возможностей функционала $s(p_{ij})$ сможет обеспечить размножение, то при чтении последовательность изменения условий уже задана с помощью ДНК так, что выделяемые вещества обязательно имеют отвечающие им группы генов, управляющие химическими реакциями при новом составе среды. Именно только это и означает, что в ДНК записана информация. Поэтому *прочитать генетическую информацию означает повторить последовательность изменения внешних условий так, чтобы был возможен переход с одной ступени иерархии на другую*. Но феноменологически это – достоверное правило повторения основных этапов филогенеза в процессе онтогенеза.

Феноменологическое подтверждение справедливости ряда (9) в целом для описания процессов записи генетической информации и роли отмеченных выше особенностей энергетики метаболизма – ведущая роль симбиоза для всех форм жизни. Симбиоз проявляется на уровне разных ДНК в одной и той же клетке (митохондриальная ДНК и ДНК ядра клетки) [16]. Он реализуется при общей ДНК, в которой нормировка энтропии переключает крупные блоки (личинка, куколка, бабочка у насекомых). Наиболее привычно понятие симбиоза на уровне целостных организмов. Дополнительные к [7] пояснения и примеры будут даны далее, а сейчас отметим, что ряд (9) и есть основа теоретической биологии, ибо он позволяет исходя из конкретных выражений для $s(p_{ij})$ формализовать эволюционные задачи и описать или предсказать конкретный организм и его взаимодействие с внешней средой. Преодолимы ли вычислительные трудности и можно ли собрать факты, необходимые для записи $s(p_{ij})$ неясно, но простые модели, как например, примененные Ю.И. Неймарком [17] для описания социальных процессов, могут быть найдены для ряда (9) и необходимых при его конкретизации нормировок энтропии, т.е. на таком уровне можно получать результаты.

Если выделить самое главное в известных экспериментальных фактах о генетических основах эволюции (см., например, [18]), то результат – на уровне физических методов исследования ДНК нет однозначности роли отбора в виде прямой связи признаков в ДНК и морфологии видов. Но ее и не может быть, так как в иерархическом ряде, описывающем эволюцию, обязательно [5–7], присутствует энтропия S_k , сам самоорганизации процессов. Иными словами, значительная доля того, что воспринимается (и есть в действительности) генетической информацией, в ДНК в явной форме не записано. Малые изменения в ДНК могут приводить к большим морфологическим отличиям и, наоборот, большие изменения ДНК не обнаружены в наблюдаемых особенностях видов, а иногда и вообще («молчание» участки ДНК). Пример морфологической одинаковости при существенных генетических различиях – стрижи и ласточки.

Выше не рассматривалось влияние изменения длины ДНК в процессе эволюции на величину членов ряда (9). Если приближенно принять, что число генов пропорционально массе ДНК в клетке, то обобщение экспериментальных данных даст рост числа генов не быстрее, чем линейный (в функции от ветвлений «древа эволюции») от величины порядка 10^7 у бактерий до почти 10^9 у человека. Но условия, налагаемые на энтропию S_k , ген, уменьшают количества элементов (участвующих в ее определении) по отношению к предыдущей ступени иерархии пропорционально количеству элементов для нее, т.е. создают экспоненциальную зависимость (показатели экспоненты на разных интервалах ряда (9) могут быть различны). Поэтому несмотря на рост длины ДНК в процессе эволюции (увеличение суммарных количеств потенциальной информации), количества собственно информации, ответственные за конкретные признаки вида в пределах данной ступени иерархии, уменьшаются. Необходимо подчеркнуть, что «молчание» участки ДНК (составляющие иногда до 99,99% генома) не несут в себе генетической информации, что подтверждает известный факт их гипервариабельности, используемой в «генной дактилоскопии». Результат гипервариабельности входит в энтропию до синтеза информации, но в силу экспоненциальности действия условия (3) не препятствует иерархическому уменьшению S_k , ген в ряде (9).

§ 4. Взаимодействие при эволюции жизни принципа максимума производства энтропии и принципа И. Пригожина минимума производства энтропии

С классической точки зрения неравновесную систему характеризует обобщенная сила

$$X_i = \partial S / \partial \epsilon_i = K \partial \ln W / \partial \epsilon_i, \quad (10)$$

создающая обобщенный поток

$$J_i = \partial \epsilon_i / \partial t. \quad (11)$$

1 Сказанное не относится к методам, например, типа гибридизации ДНК, когда физические средства используются для идентификации биологических результатов.

Принцип минимума производства энтропии, сформулированный И. Пригожиным в 1947 г., утверждает: стационарный поток в системе, в которой происходит необратимый процесс, характеризуется тем, что производство энтропии

$$dS_i / dt \equiv \dot{S}_i \equiv \sum_j X_j J_j \quad (12)$$

имеет минимальное значение, т.е.

$$\frac{1}{2} d^2 \dot{S}_i = \sum_j \delta X_j \delta J_j > 0. \quad (13)$$

при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, которое является абсолютным минимумом, когда $\dot{S}_i = 0$.

Стационарный поток может существовать только в открытой системе, а билинейная форма (12) и принцип (13) подразумевают аналогию с механикой, когда реализуется баланс подведенной энергии и работы сил трения: устойчивость возмущений.

Принцип И. Пригожина получен первично из соотношений взаимности Онзагера, т.е. относится к линейным задачам. Сегодня он имеет разные доказательства, в том числе и чисто статистическими методами. Однако в силу того, что критерии устойчивости А. Ляпунова определяются на основе линеаризованных уравнений, принцип И. Пригожина при $d^2 S < 0$ и $d^2 \dot{S} > 0$ может быть обобщен и на некоторые нелинейные задачи.

Статистическая обоснованность позволяет использовать приведенные выше определения и принцип Пригожина и в тех случаях, когда энергия ϵ_i не имеет размерности физической энергии, а приобретает смысл, связанный с признаками, задаваемыми функциями $s(p_{ij})$.

Общее и различное в установлении равновесия при образовании кристаллов и для потоков Г. Хакен выделил, введя понятие о неравновесных фазовых переходах, подчиняющихся принципу И. Пригожина и глобальному для него аксиоматическому условию

$$d^2 \dot{S}_i > 0. \quad (14)$$

Выше было пояснено, что жизнь как открытая система характеризуется воздействием извне, меняющим нормировку (5) энтропии, в частности, так, что энтропия, вычисленная в пределах признаков, заданных $s(p_{ij})$, уменьшается. В терминах теории вероятностей силы X_i определены независимо от вида признаков и условий, используемых при вычислении энтропии как числа возможных состояний системы. Например, для случая игральной кости, приведенных ранее изменений энтропии ΔS и нормировочной энергии $\Delta \epsilon$ сила

$$X_i = \frac{S'_0 - S_0}{\epsilon'_0 - \epsilon_0} = -0,18.$$

Это абстрактная величина, но в условиях, когда $s(p_{ij})$ – функционал, зависящий от размерных физических переменных, силы X_i при неравновесных процессах могут управлять конечными равновесными состояниями системы.

При синтезе генетической информации описанная в предыдущем параграфе процедура определения максимума на основе условий нормировки типа (5) определяет, что энтропия уменьшается, а рост обобщенной энергии продолжается. В частности, это имеет место в случае синтеза генетической информации, когда сила (10) принимает вид

$$X_{k,gen} = \frac{\partial S_{k,gen}}{\partial \epsilon_i} < 0. \quad (15)$$

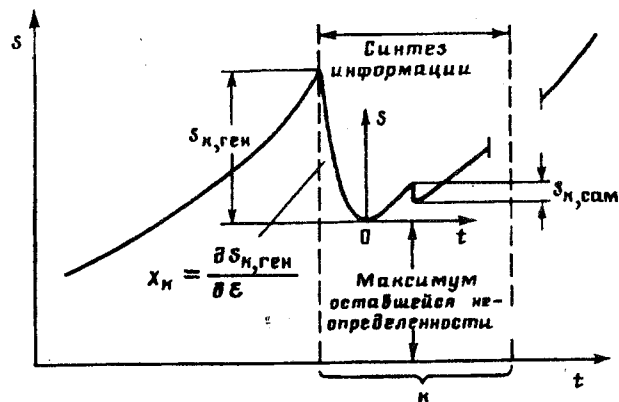
Для отрицательной силы (15) при положительном знаке для потока условие (13) приобретает вид $d^2 S_{k,gen} < 0$, как очевидно обратный условию И. Пригожина. Минимум энтропии, созданный синтезом информации, т.е. условие $d^2 S > 0$, сочетается с максимумом скорости производства энтропии (запоминание размножением): $d^2 S < 0$. Но это означает устойчивость по Ляпунову возникающего на основе минимума энтропии (статистически неустойчивой точки) обобщенного потока.

Устойчивая по Ляпунову ситуация, когда

$$d^2 S > 0 \text{ и } d^2 \dot{S} < 0, \quad (16)$$

отвечает устойчивому нарастанию возмущений в обобщенном потоке. Условие (16) есть принцип максимума производства энтропии в узком смысле как описание устойчивого потока со свойствами, которые противоположны свойствам потока, подчиняющегося пригожинскому принципу минимума производства энтропии.

В широком понимании, в котором определение «принцип максимума производства энтропии» вынесено в заголовке статьи, ему отвечает основная логическая цепочка этой работы, которую укрупненно повторю ниже.



которому соответствует минимум энтропии в функции от времени эволюции. Возникает статистически неустойчивое состояние для данных признаков и условий (рисунок). Выход из этого неустойчивого состояния происходит в результате неравновесного процесса роста энтропии, который подчиняется принципу максимума производства энтропии, т.е. возмущения обобщенного потока устойчиво нарастают. Это коррелирует с избыточностью производства обобщенной энергии. Устойчивый поток, по определению, может быть представлен как последовательность стационарных состояний, которые обязаны локально подчиняться принципу минимума производства энтропии, т.е. закону затухания возмущений. Изменение энтропии в процессе синтеза информации, осуществляемого путем перенормировки энтропии с участием внешних и внутренних условий, обязательно связано с возникновением обобщенных сил, которые в неравновесном процессе управляют конечными равновесными состояниями системы, так как равновесный результат для ДНК или РНК допускает множество приближенно равноправных состояний.

Синтез информации всегда происходит на основе тех признаков и условий, которые определяют взаимодействия элементов системы до синтеза информации. Морфологически эти признаки и условия отображает вид элементов и систем — макромолекулярных блоков, внутриклеточных составляющих, клеток, их сообществ, организмов, их взаимодействий. Поэтому всегда описанная выше цепочка процессов синтеза информации морфологически выражается в виде симбиоза.

На основе подчеркнутого выше ясно, что сила (15) и условия (16) определяют тот факт, что эволюция — не пассивный естественный отбор из независимых случайностей, а активный процесс, направленный в сторону иерархического симбиоза под контролем обобщенных условий внешней и внутренней среды. Условия (15) и (16) означают, что существует конкретная, математически выражаемая обобщенная сила, определяющая неравновесные ограничения на возможные в результате мутаций конечные равновесные комбинации в ДНК, которые намного сильнее, чем ограничения потенциалов взаимодействия атомов в ДНК, т.е. «буква» и «слов» генетического кода.

Существование силы (15) и условия (16), определяющее устойчивость нарастания возмущений, создают неравновесность флуктуаций, возникающих в неравновесном процессе синтеза ДНК (синтеза информации в ДНК) при восстановлении ее повреждений (образовавшихся за счет подвода энергии извне, например, радиоактивного облучения и прочего). Ведь мутация — это равновесный результат неравновесного процесса репарации повреждений ДНК. Кстати, надо подчеркнуть, что установление минимума энтропии в процессе синтеза информации путем изменения нормировки энтропии, как оно было описано в предыдущем параграфе, устраняет минимально возможную величину неопределенности для системы, т.е. локальный нуль энтропии по абсолютной величине отвечает максимально возможной оставшейся энтропии как мере неопределенности состояния системы.

Иерархия синтеза информации (9), сила (15) и устойчивость нарастания возмущения (16) означают, что эволюция имеет движущую силу в обобщенном виде аналитической механики, в частности внутри ДНК, направленную в сторону симбиоза. Эта движущая сила определяется внутренними (в том числе химическими) причинами как особенностями ДНК в той части, в которой эта молекула является носителем генетического кода, но зависит от внешней среды.

Конкретный вид $s(p_{ij})$ задает знак и величину этой силы с помощью конкретных уравнений состояния, связывающих μ_i и μ_j с учетом принципа структурной комплементарности.

Уравнения состояния не могут быть получены термодинамическими методами: они зависят от деталей строения атомов. Нет вне этой конкретности общего закона, априорно предпо-

деляющего условия (9), (15), (16), но есть наблюдаемые факты, которые отображают известное феноменологическое «древо эволюции» видов, означающие, что необходимые уравнения состояния действительно реализуются.

Прямым экспериментальным доказательством справедливости сформулированной выше концепции являются результаты опытов Дж. Кейрнса [19] и Б. Холла [20]. В [19] штамм бактерий *Escheria coli*, не способный усваивать лактозу, выращивался в среде, содержащей ее. В терминах сформулированной выше концепции этому соответствует изменение для ДНК *E. coli* условий нормировки энтропии по отношению к тем, которые определяли существование данного штамма.

Мутация есть результат процесса возвращения в равновесное состояние возбужденной за счет подвода энергии молекулы ДНК (РНК). В этом процессе при новой нормировке энтропии, заданной присутствием лактозы, могут реализоваться новые уравнения состояния, определяющие функции $s(p_{ij})$. Возникает сила X_k , ген. Конечные равновесные состояния ДНК перестают быть равновероятными.

Именно это наблюдается в [19] как результат эксперимента: присутствие лактозы вызывает мутации (как конечный равновесный результат), обеспечивающие способность утилизировать лактозу. Другой штамм *E. coli* в этих же условиях быстро давал мутации, исключавшие из генома фрагмент, блокирующий метаболизм лактозы. Еще в одном эксперименте у *E. coli* в присутствии лактозы за несколько дней синтезировались две редкие мутации, которые активируют в норме неиспользуемый ген, необходимый для утилизации лактозы. Эти результаты показывают, что действие силы X_k , ген в функции от прочих условий дает разные случайные результаты, но все они диктуются требованием удовлетворить новой нормировке энтропии.

Аналогичное воздействие на нормировку энтропии можно выявить и в опытах [20]. В них *E. coli* помещали в среду, единственным питательным веществом в которой был салицин. Опять условия опыта сводятся к изменению нормировки энтропии. И опять ответом на это является быстрое появление редких мутаций, позволяющих использовать в качестве питательного вещества салицин.

В терминах сформулированной выше концепции это означает, что были реализованы условия экспериментов, когда в функционале $s(p_{ij})$ есть функции $s(p_{ij})$, которые могут обеспечить запоминание, — синтез новой генетической информации в новых условиях, для которых гарантировано существование уравнений состояния.

Особо подчеркивает справедливость изложенной выше концепции сопоставление результатов экспериментов [19,20] с классическими опытами 1943 г. С. Лурия и М. Дельбрюка [21], в которых внешнее воздействие на быстрорастущую культуру бактерий задавалось бактериофагом и подсчитывалось число мутантов, устойчивых к инфекции. Оно не зависело от присутствия во внешней среде бактериофага. Но бактериофаг — агент, разрушающий геном (переводящий его в возбужденное состояние). Присутствие бактериофага непосредственно не влияет на условия нормировки энтропии при синтезе информации, что и проявилось в результатах экспериментов.

Внешние условия, окружающая среда сами по себе не могут изменить генетическую информацию. Но если внешние условия таковы, что они изменяют нормировку энтропии при неравновесном процессе синтеза информации, то обязательно возникает неравновесность конечных состояний для генетического кода — синтез генетической информации, отвечающей запоминанию случайного выбора, происходящего на основе описанной выше концепции при новых внешних условиях. Это и отображает сопоставление результатов экспериментов Дж. Кейрнса и Б. Холла с классическими экспериментами С. Лурия и М. Дельбрюка.

§ 5. Мягкий и жесткий режим синтеза генетической информации

Молекула ДНК — это статическая, равновесная система, поэтому сила (15) действует в том же направлении, что и экстремумы потенциалов взаимодействия атомов, определяющие существование ДНК: сила (15) имеет характер положительной обратной связи. В этом случае всегда реализуется один из двух режимов перехода к стационарному состоянию. Мягкий, когда зависящий от внешних условий переход к стационарному состоянию непрерывный, и жесткий, когда стационарное состояние отличается от его окрестности скачком функции.

Именно это наблюдается при феноменологическом описании эволюции и создает на сегодняшний день неопределенные противоречия.

Мутации даже в одном гене репродуктивных клеток как правило летальны. Дж. Холдейн ввел понятие платы за отбор — общего числа случаев генетической гибели в процессе замещения за счет случайных мутаций одного гена. Если известна скорость размножения для популяции данного вида живого, то можно оценить верхнюю частоту летальных исходов мутаций, не приводящую к гибели популяции, и скорость эволюции путем малых генетических изменений. Эти расчеты есть во многих источниках [18] и подтверждаются с хорошей точностью эволюционными примерами. Такой подход и его результаты являются классическим подтверждением теории дарвиновского отбора, а на основе силы (15) это можно описать в виде мягкого режима перехода к стационарному состоянию в ДНК в процессе синтеза в ней информации.

Однако наблюдения дают множество случаев, когда скорость эволюции настолько велика,

что невозможно совместить потребную гигантскую плату за отбор в нужные сроки с возможностью выживания популяции.

Сила X_k ген может реализоваться в неравновесном процессе формирования мутации после локального подвода энергии к ДНК. Она возникает в неравновесном процессе взаимодействия ДНК с внешней средой, управляя переключением групп реакций (работающих участков генома).

Величина силы (15) зависит от конкретного вида функций $c(p_{ij})$. Нужны какие-то особые причины, для того чтобы воздействие этих функций на величину энтропии было только малым. Естественно обратное — воздействие как больших, так и малых X_k ген.

Большой величине X_k ген соответствует жесткий режим перехода к стационарному состоянию, который не вписывается в обычную трактовку дарвинского отбора.

Приведу эволюционные примеры жестких режимов перехода к стационарному состоянию при отборе.

Кольчатые черви, членистоногие и насекомые в эволюционных масштабах времени появились почти одновременно. Они образуют некоторую частную ступень иерархии синтеза генетической информации. Избыточное производство и аккумуляция энергии для червей связано с образованием их тела как организма. Для насекомых характерны более сложные формы аккумуляции (хитин, паутиновые нити и прочее). Весь этот комплекс должен быть связан с определенными (названными нами) особенностями алгоритмов химических превращений, отображаемых с $[p_{ij}]$. Поэтому существует обобщенная сила X_k ген < 0 , направленная в сторону образования в геноме комплексов, управляющих именно такими процессами аккумуляции энергии.

Случайность есть только случайность: цели эволюции как конкретного биологического вида живого организма нет. В частности, случайность стала основой синтеза информации о нежизнеспособной форме — червях-самоубийцах. На определенной стадии их развития включаются какие-то из предпочтительных, независимо возникших под действием X_k ген комбинаций, приводящих к образованию герметизирующего их хитинового покрова или паутинового кокона.

Изменяются внешние условия. Примитивное окисление невозможно, и еще одна ошибка уничтожает червя — выделяются ферменты, в частных случаях полностью его растворяющие: переводящие всю его массу в гомогенную смесь. Избыточная энергия огромна, а рост энтропии путем абиеогенного распада заблужден. Но в функционале с $[p_{ij}]$ червя были отображены молчаливыми участками ДНК гены насекомого (иначе не возникла бы герметизация куколки). Гомогенно хаотизированная среда внутри куколки нормировкой энтропии включает работу этих генов готовыми комплексами. Куколка становится одним из вариантов обычного для форм жизни яйца как предтечи организма, а генетическая основа червя переходит (возможно, и частично) в «молчащую» часть ДНК. Ведь любая форма яйца — это тупиковый «организм». Привычно формирование яйца за счет процессов внутри организма. Куколка насекомых — превращение в яйцо целого самостоятельного организма накопившего ресурсы извне.

Случайность не имеет априорных средств контроля «истинности». В результате из куколки могут выходить насекомые, не имеющие собственной пищеварительной системы — опять самоубийцы. Но они могут откладывать яйца с малой энергетической избыточностью: червь ее восполнит. Это жесткий переход к стационарному состоянию в геноме как отображение специфики силы X_k ген, а дарвиновский отбор способен объяснить только мягкие режимы перехода. Вместе с тем это есть типичный симбиоз, ибо бабочка без пищеварительной системы полностью существует за счет энергетических запасов червя. Раздельные геномы ни в коей мере нельзя считать обязательным признаком симбиозов.

Другой пример. Экологические ниши глубоководной (2600 м) вулканической деятельности, в которых отсутствует свет, но тепло (10 — 20°C), есть кислород, углекислота и много сероводорода. Там обнаружено большое разнообразие оригинальных форм жизни, в частности погонофоры (*Riftia pachyptila*): прикрепленные к камням трубки-организмы длиной до метра, которые состоят только из системы кровообращения. Она транспортирует кислород, сероводород, углекислоту от «жабр» на конце трубки внутрь — в систему капилляров, пронизывающих внутренность трубки. Объем крови составляет до 30% всей массы погонофор. Генетически собственной системы энергообеспечения у погонофор нет.

Внутри погонофор находится (не контактирующая непосредственно с внешней средой)

- 1 В геноме личинки-червя содержатся напрямую не подвергавшиеся отбору, попавшие туда случайно как целое «молчащие» участки ДНК, ответственные за формирование насекомого. Они включаются, когда накоплены определенные продукты и условия, но червь существует — система слишком детерминирована, самоорганизация не может создать насекомое. Вместо него, например, вырастает только хитиновый покров червя с некоторыми элементами, подобными форме насекомого — куколка, одна и та же генетическая информация в разных условиях приводит к разным результатам самоорганизации, но при строго ограниченных ею вариантах.

колония бактерий — хемолитоавтотрофов, генетически чуждая организму — кровеносной системе, но взаимодействующая с окружением только через кровеносную систему. Основа их энергетика — окисление H_2S с образованием универсального энергоносителя — АТФ, с помощью которого бактерии снабжают энергией «чужой» организм. Сероводород ядовит для обычного гемоглобина, а кроме того, в процессе транспортировки кислород и сероводород не должны контактировать. Поэтому у погонофор гемоглобин отличается от известных форм так, что способен производить столь сложный транспорт веществ [22].

Классическими дарвиновскими эволюционными изменениями и отбором из них существование погонофор объяснить невозможно при любых натяжках. Тем более что, с геологической точки зрения, экологические ниши подводных вулканов сугубо изолированные и недолговечные. Покажем, как ряд (9) и сила X_k ген обеспечивают жесткий режим перехода к стационарному состоянию и тем самым стремительность видообразования, без которой существование сложных форм жизни в этих экологических нишах принципиально невозможно.

Сульфидные хемолитоавтотрофы относятся к простейшим формам жизни на эволюционном этапе перехода от анаэробов к кислородному обмену. Они сохранились до наших дней. ДНК — это прежде всего равновесная молекула, поэтому в неактивной форме хемолитоавтотрофы существуют в самых разных земных условиях. Их размножение в зоне подводного вулкана — высоковероятный процесс (для них это родная экологическая ниша).

На дне скапливаются остатки жизнедеятельности в поверхностных слоях океанов. Оживление ДНК соматических клеток — процесс, реализованный многократно в лабораторных условиях.

Размножение сульфидных хемолитоавтотрофов меняет окружающую среду. При этом необходимо учитывать выделенные выше особенности иерархии эволюции жизни.

Обязательная для жизни избыточность производства энергии для ее простейших форм предельно проста — это избыточность производства АТФ, которая в конечном счете эквивалентна неспецифической для последующих химических реакций энергии ED . На какой генетической основе будет использована эта энергия — эволюции безразлично.

В эволюционных масштабах формы с сульфидным и водным фотосинтезирующим обменом отделяют друг от друга порядки миллиарда лет, т.е. количества информации, отличающие их, огромны. Этому соответствует очень большая величина сил X_k ген. Принцип структурной комплементарности требует, чтобы в формах жизни с фотосинтезирующим или обычным кислородным метаболизмом присутствовали, если не явные «молчащие» участки ДНК, совместимые со средой, содержащей соединения серы, то уж во всяком случае высоковероятные потенциально возможные генетические комбинации с такими свойствами. Поэтому в условиях избытка серы оживление участков ДНК от скопившихся на дне остатков соматических клеток становится процессом более вероятным, чем подобное оживление в обычных для современной жизни условиях.

Именно поэтому крупный комплекс ДНК, ответственный за систему кровообращения неизвестного нам обитателя первых десятков или сотен метров от уровня океана, не только может, но и должен начать функционировать в виде погонофор — это высоковероятный процесс. А поскольку чтение генетической информации без участия S_k сам невозможно, то конкретный результат оказывается несопоставим с морфологическим отображением этой же информации в «родной» для нее форме жизни. И для гемоглобина действует большая сила X_k ген, что гарантирует высокую вероятность его изменения, обеспечивающего совместный транспорт несовместимого — кислорода и сероводорода. Ведь первичные неспецифические предки гемоглобина были совместимы с сероводородом.

В обычных земных условиях для переноса больших участков ДНК нужны «катализаторы» в виде полового процесса или вирусов. При столь разной генетической основе, как у погонофор, крупный участок ДНК оживает сам по себе, потому что велики силы X_k ген. Это сверхжесткий переход к стационарному состоянию, происходящий одномоментно, но на основе случайных проб среди огромного разнообразия эволюционно более поздних форм ДНК. Справедливость всего изложенного подтверждает тот факт, что сложными и оригинальными формами жизни, использующими сероводород, заселены практически все вулканические глубоководные впадины, но тождественности видов в них не наблюдается. Подобные симбиотические формы жизни встречаются и на поверхности земли: в соленых болотах, у мест просачивания нефти, в районах сброса сточных вод — в местах, богатых сероводородом. Конкретная специфика взаимодействия серных бактерий и высших форм жизни там не повторяет пример погонофор: принцип тот же, а случайные реализации самые разнообразные.

Именно кажущаяся несовместимость при описанном выше симбиозе есть причина условий, гарантирующих высокую вероятность его реализации. Время локального существования описанных экологических ниш столь мало, что вторичные организмы, питающиеся «серными симбионтами», там представлены мало.

Жесткий режим перехода к стационарному состоянию можно трактовать как эволюцию без отбора. Это не так. Отбор в этом случае существует, но, в частности, может производиться из пригодных к метаболизму, однако далеких друг от друга генетических форм: отбор в пространстве, а не во времени. Вместе с тем привычный термин «отбор» несет в себе пассивный смысл, в то время как описываемый им синтез информации — активный процесс.

Пример погонофор — это видообразование, затрагивающее предыдущие уровни иерархии, т.е. своеобразное доказательство возможности существования в ряде (9) корреляционных членов, о которых говорилось в [7].

Опять подчеркнуту, генетическая информация не может синтезироваться и читаться без участия количества информации $S_{k, \text{сам}}$. Сила $X_{k, \text{ген}}$ — это сила в таком же обобщенном смысле аналитической механики, в каком ее используют в качестве физической переменной во всех областях науки. Как ее связать с алгоритмами химических превращений на основе предложенной в [6] энтропии (2), будет пояснено в отдельной статье.

§ 6. Что такое — прогрессивная эволюция?

Пусть (с учетом изложенных выше соображений) размножение как реализация запоминания в процессе синтеза генетической информации превратило энтропию $S_{k, \text{ген}}$ в количество информации в данном виде живого: неопределенность устранена, и тем самым исходно при первой репликации ДНК энтропия для данных признаков и условий равна нулю. Далее в процессе размножения клеток их число растет. При этом действует несколько причин увеличения энтропии.

I. Энтропия системы из неизменных элементов пропорциональна их количеству, поэтому размножение увеличивает энтропию системы в целом, но оставляет неизменной энтропию, отнесенную (как в газах) к «единице объема». Для жизни как термодинамической системы остается важным общее увеличение энтропии. Отнести энтропию к «единице объема» поэтому можно не всегда. В частности, взаимные состояния и положения макромолекул в клетках, самих клеток, их сообществ и т.д. неравноправны. Для (9) существует поэтому ряд случаев, когда энтропию $S_{k, \text{сам}}$ надо определять для полного числа элементов системы, экспоненциально растущего при размножении. Есть, однако, причины, которые при размножении изменяют энтропию, отнесенную к «единице объема».

II. Энтропия $S_{k, \text{сам}}$ зависит от $S_{k, \text{ген}}$ через признаки, задаваемые в (5) в качестве основы нормировки энтропии $S_{k, \text{ген}}$. В системе неизменных элементов, свойства которых заданы $S_{k, \text{ген}}$, возникают флуктуации. Даже в газах, где элементы-молекулы весьма просты, они сложно функционально связаны с числом элементов. Для жизни не только собственно ее «частицы» сложны, но и при чтении генетической информации изменяются нормировки (5) для энтропии, что нарушает неизменность элементов, и функциональные зависимости для флуктуаций еще больше усложняются. Это увеличивает энтропию, отнесенную к «единице объема».

III. Энтропия $S_{k, \text{сам}}$ зависит от $S_{k, \text{ген}}$ через признаки, задаваемые в (5) в качестве основы нормировки энтропии $S_{k, \text{ген}}$. В системе неизменных элементов, свойства которых заданы $S_{k, \text{ген}}$, возникают флуктуации. Даже в газах, где элементы-молекулы весьма просты, они сложно функционально связаны с числом элементов. Для жизни не только собственно ее «частицы» сложны, но и при чтении генетической информации изменяются нормировки (5) для энтропии, что нарушает неизменность элементов, и функциональные зависимости для флуктуаций еще больше усложняются. Это увеличивает энтропию, отнесенную к «единице объема».

III. При репликации ДНК возникает с некоторой частотой ошибки. Увеличивают $S_{k, \text{ген}}$, т.е. опять энтропию «единицы объема», половой процесс и участие вирусов.

IV. Действует фон радиоактивного излучения, вызывающий мутации, суммарное число которых пропорционально количеству клеток. Химические мутагены отличаются от радиоактивного облучения: они действуют локально и адресно по отношению только к определенным участкам ДНК, но приближенно их вклад в изменение генетической информации $S_{k, \text{ген}}$ можно объединить с вкладом радиации.

Возможность репликации является априорным свойством ДНК¹. Но экспоненциальность размножения, обуславливающая механизмы (I — IV) роста энтропии, должна иметь причину.

Как отмечалось выше, избыточное производство энергии и ее аккумуляция в продуктах метаболизма — важнейшая принципиальная особенность жизни. Хотя все вещества-аккумуляторы относительно нестойки, их самопроизвольное разложение до «газокинетического предела» энтропии — длительный процесс. Мышечная масса мамонтов в условиях вечной мерзлоты сохраняется сотни тысячелетий, но даже в тропической жаре ее стерильный распад займет многие годы. Пищеварительные процессы или другие взаимодействия с участием живых организмов приводят к ее полному разложению за часы. *Экспоненциальность размножения*, характерная для всех форм жизни, возникает потому, что увеличение количества элементов системы увеличивает скорость роста энтропии как в целом для системы, так и для «единицы объема». Но при этом обязательно новое превышение производства энергии, носое аккумуляция излишков — «сизифов труд» природы.

¹ Н.В. Тимофеев-Ресовский назвал это принципом конвариантной редупликации и включил в него неограниченное воспроизведение внесенных в геном мутаций.

Существование силы (10) и ее частной формы (15), статистическая неустойчивость состояния с избытком энергии и минимумом энтропии позволяют механизмам роста энтропии (I) и (IV) стать основой случайностей, приводящих к новому этапу синтеза информации — иерархической лестнице энтропий (9).

Как подчеркивалось ранее, жизнь представляет собой две подсистемы, отличающиеся на много порядков величины по временам релаксации. Самоорганизация связана со стремлением к росту энтропии. При сопоставимых временах релаксации подсистем предварительным условием самоорганизации является неустойчивый экспоненциальный рост, приводящий к перепутыванию динамических траекторий — забыванию системой своего прошлого [2]. Жизнь с ее несопоставимостью времен релаксации подсистем основана на растущих, но устойчивых потоках, когда в силу принципа структурной комплементарности и перенормировки энтропии прошлое трансформируется в свойства элементарных взаимодействий долгоживущих новых элементов системы (с некоторыми оговорками аналогичное характерно для разума и социальных систем). Иерархичность самоорганизации систем означает, что сам хаос, само существование энтропии есть основа детерминизма запоминаемого объекта — синтезированной в нем информации.

Обиходно понятие — «прогрессивная эволюция» предполагает наличие какого-то априорного блага, во имя которого происходит развитие. Такое благо носит волевой характер, что, казалось бы, выводит прогрессивную эволюцию за рамки научных определений. Однако ряд (9) и принцип максимума производства энтропии создают этому определению строгую формулировку: *прогрессивная эволюция есть иерархия синтеза информации, описываемая рядом (9), члены которого, отображающие долговременно запомненную информацию, прогрессивно (экспоненциально) убывают*. Показатель экспоненты может быть разным для разных интервалов ряда (9), т.е. реализуемая убывающая функция, описывающая величину членов ряда (9), может быть сложной. Поскольку мозг способен предвычислить последствия, то существовать случаи, когда обиходное и строгое определения понятий прогрессивной эволюции совпадают.

Если с точки зрения принципа максимума производства энтропии и понятия о прогрессивной эволюции посмотреть на то, что исторически происходит с человечеством, то становится ясным, что пока ничего особо разумного, отличающего человека от прокариот, оно не сделало. В отличие от прокариот человек может использовать не только эфемерную избыточность производства энергии своими соседями по экологической нише, пожирая мясо, хлеб и фрукты, но и может сводить к «газокинетическому пределу» энтропии прошлые запасы избыточности метаболизма — уголь, нефть, газ. Он научился создавать концентрацию энергетической избыточности, невиданную для неразумной жизни, в виде атомных и водородных бомб. Но по отношению к прокариотам это количественные, а не качественные отличия. Более того, если принцип структурной комплементарности автоматически делает самоубийство анаэробов-прокариот экологически «чистым», то человек с помощью разума еще только пытается приблизиться к способностям прокариот. Человек действительно достиг «цели эволюции», оказавшись непревзойденным в способности увеличивать энтропию на Земле, но в соответствии с законами прогрессивной эволюции его «отходы» по степени концентрации избыточной аккумулярованной энергии (в виде атомных и водородных бомб) не превзойдены никогда и нигде в истории эволюции жизни на Земле.

Я не верю в особую роль и возможность человека влиять на процессы в масштабах Вселенной, но придерживающиеся противоположной точки зрения есть и среди крупных ученых. Для них в полуфантастическом плане можно предложить, пожалуй, единственный способ осуществления этой роли. Дело в том, что в современных квантовых теориях гравитации есть странные решения, приводящие к возможности возникновения новых вселенных в результате малых возмущений с энергией порядка взрыва имеющихся на земле ядерных бомб. Так может быть особая роль человека в том, что он взорвет эти бомбы и тем самым замкнет цепь, задающую нарушение причинности [7] при возникновении Вселенной, необходимое для существования односторонности времени?

Принцип максимума производства энтропии хорошо объясняет причины смерти как обязательной составляющей жизни: прекращение производства энтропии (роста) выводит на первый план статическую неустойчивость состояния минимума энтропии: наступает экспоненциальный распад. Этого можно избежать для человечества в целом искусственными методами, например, маятник будет устойчив в положении грузом вверх, если по определенному закону колебать его точку подвеса. Этот принцип стабилизации существования человечества делает судьбу всех зависимой от единиц, контролируемых «устройства» стабилизации.

Истинно разумным может быть поэтому только тот путь, который не требует превратить квазистационарное состояние человечества в окончательное равновесие, а продолжает принципы

¹ Во всяком случае освоение Луны, Марса не как следствие перенаселенности Земли, а как способ продолжения развития и использования аккумуляции энергии (в том числе и ее эквивалентов при работе разума) есть один из путей сохранения человечества на Земле. Религии и их идеологические социальные эквиваленты стремятся осуществить невозможное окончательное равновесие на некотором достигнутом уровне, хотя как средство реализации локального пригожинского принципа они могут быть полезны.

прогрессивной эволюции: рост на основе функционально пригодного для него использования избыточно аккумулированной энергии. Реализуемо ли это...?

Для того чтобы принцип максимума производства энтропии мог обеспечить устойчивость обобщенного потока, необходим минимум самой энтропии как результат факта синтеза информации. Это ограничивает величину радиоактивного фона, совместимую с прогрессивной эволюцией. Л. Марончик [23] показал, что для планетных систем звезд в рукавах галактик, где часты вспышки сверхновых звезд, эволюция жизни невозможна. Ее прерывает радиоактивное излучение вспышки. Эволюция жизни на Земле началась и происходит в период движения Солнца между рукавами Галактики. Уровни радиации, прерывающие эволюцию, в расчетах Марончика порядка тех, которые дали Чернобыльская и Кыштымская аварии. Учитывая полигоны в Семипалатинске, на Новой Земле, в Неваде и другие источники радиоактивного загрязнения, ответ на вопрос, не находится ли сегодня человечество уже в режиме прерывания прогрессивной эволюции, требует точных расчетов. Качественных запретов нет.

§ 7. О сложности систем, ценности, незаменимости и потенциале информации

Иерархический ряд (9) и принцип максимума производства энтропии позволяют дать строгие определения таким понятиям, как сложность системы, ценность, незаменимость и потенциал информации. Необходимость в этом возникает потому, что теория информации оперирует с уже синтезированной информацией, а жизнь и разум, что следует еще раз подчеркнуть, непосредственно, без участия синтеза информации не могут обмениваться информацией с окружением. Поэтому определение указанных понятий в теории информации и для эволюции жизни и разума принципиально не могут быть одинаковыми.

В теории информации мерой сложности сообщения (системы) служит количество информации, заключенное в кратчайшей программе, кодирующей или генерирующей сообщение (систему). Это определение подразумевает, что заданы, например, система исчисления, правила написания и чтения цифр, правила действия с ними и многое другое, не обсуждаемое в пределах этого определения. Тогда сообщение, содержащее цифры 3,14159... и далее известные сегодня $2,16 \cdot 10^7$ цифр значения числа π , предельно простое, ибо кодирующая его программа — это запись буквы π . Но с точки зрения синтеза информации, это же сообщение исключительно сложное, ибо, для того чтобы его сделать, надо устранить неопределенность при создании понятия о счете, понятий геометрии. Далее надо устранить неопределенность в выборе системы исчисления и т.д., включая тысячелетия, понадобившиеся для решения задачи о квадратуре круга.

Противоречие устраняется, если учесть, что для жизни и разума априорным, первичным может быть только то, что замыкается на семантическую информацию «первых принципов» природы. Такой первичной переменной является величина энтропии — меры количества информации. Отсюда следует определение: *сложность системы (сообщения) выражается количеством информации в виде ее меры — энтропии, необходимым для описания индивидуальных элементов системы.* Но тогда из свойств энтропии следует, что абсолютного количественного выражения сложности системы быть не может, ибо энтропия определена всегда при заданных признаках системы и заданной нормировке, т.е. нуль отсчета может быть разным. Появляется необходимость относительных характеристик информации. Для них можно использовать употребляющиеся названия — ценность и незаменимость, а также ввести понятие потенциала информации.

Для членов ряда (9), отображающих эволюцию жизни, важна величина отношения количества генетической информации для двух последовательных ступеней иерархии синтеза информации. Назовем *ценностью генетической информации число Z_k , показывающее во сколько раз уменьшается количество информации при переходе в (9) к следующей ступени иерархии синтеза информации:*

$$Z_k = S(k+1), \text{ ген} / S_k, \text{ ген} \quad (17)$$

В соответствии с примерами, приведенными в [6,7], ценность генетической информации падает по мере эволюции жизни.

Но, например, все формы жизни зависят от количеств информации, определяющих общую для них основу энергетики метаболизма. Информация, описывающая участие в этих процессах АТФ, для высших форм жизни практически незаменима.

Понятие незаменимости предполагает, что данный уровень синтеза информации открывает возможность дальнейшего роста количества членов ряда (9). Тем самым *незаменимость*

1 В зависимости от постановки задачи ценность информации можно определить и абсолютно — величиной изменения энтропии при синтезе информации. S-теорему Ю. Климонтовича можно трактовать как способ количественного выражения ценности информации в таком виде.

информации должна оцениваться с учетом последующего эволюционного процесса. Поэтому незаменимость информации для уровня $(k+1)$ логично определить в виде

$$M_{k+1} = Z_k \sum_{k+1}^{k+1} S_{k, \text{ген}} \quad (18)$$

В этих определениях использовалась энтропия, описывающая генетическую информацию, ибо информация о самоорганизации S_k , сам наследуется только как функциональное следствие S_k , ген.

Эволюция разума и науки есть продолжение ряда (9) и подчиняется в такой же мере принципу максимума производства энтропии, как и эволюция жизни. Так же формируется устойчивый обобщенный поток, действуют в нем локально законы приближения к равновесию, происходит накопление избыточной «энергии», возникают случайные флуктуации и «мутации». Но для эволюции жизни семантически заданные экстремумы термодинамических потенциалов предшествуют процессам самоорганизации, лежат в их фундаменте, в частности, материализуясь в конкретных формах РНК или ДНК. А логика, являющаяся строгим аналогом равновесных термодинамических процессов (как подчеркивалось в [6]), для мозга вторична — может работать только на основе предварительного синтеза информации в виде произвольных систем аксиом, не имеющих столь сильных семантических ограничений, как при синтезе генетической информации.

Сложности вызывает и то, что при синтезе информации энтропия есть устраненная неопределенность: изменения количества информации, недостающих до полного описания системы. Для логических операций в мозге энтропия — само количество информации. Оба смысла энтропии при работе мозга реализуются совместно.

Кроме того, если для мозга как конструкции еще можно морфологически разделить долгоживущую и быструю подсистемы [6], то для продуктов его работы, в частности науки, долговременно запоминаемое и быструю самоорганизацию разделить труднее. В этих случаях на первый план выступает то обстоятельство, что информация характеризуется в силу универсальности связей вероятностей и потенциалов еще и аналогами температуры и энергии. Когда речь идет о генетической информации, эти характеристики в значительной степени отображаются физическими свойствами ДНК как молекулы. Но для описания работы мозга и эволюции науки потенциалы информации в виде множителей Лагранжа (аналогов обратной температуры) и потенциалы, являющиеся эквивалентами энергии, явно должны участвовать в задачах как переменные. Отсюда необходимость ввести при описании информации переменную — потенциал информации, содержащую две градации: «температуру» информации и «энергию» информации. Вместе с тем определение незаменимости информации в этом случае должно включать в себя с обратным знаком и энтропию, возникающую в силу действия при работе мозга аналогов причин (I — IV) увеличения энтропии как меры неопределенности, которую может превратить в информацию последующий синтез.

Логические преобразования можно разделить на те, которые не изменяют количества информации, а только преобразуют ее потенциал (аналоги адиабатического процесса) и изменяющие количества информации при постоянном потенциале (аналог изотермического процесса). Вероятностные эквиваленты энергии при обработке информации (подобно классической термодинамике) могут быть аналогами внутренней энергии, свободной энергии или других видов термодинамических потенциалов. Для них работают аналоги соотношений взаимности Максвелла и соотношений Онзагера. Некоторые связанные с этим возможности контроля истинности для сложных вычислительных систем рассмотрены в [24]. Напомню, что в ЭВМ и мозге [6 — 8] физическая энергия и ее вероятностные эквиваленты в логике, как правило, независимы (следствия обеспечивающих это процессов см. [25, 26]).

Существует способ изменения количества информации, предельным случаем которого является тождественное типографическое тиражирование статьи или книги. Он, казалось бы, сохраняет неизменным количество информации, нормированное на «единицу объема» системы. Но, хотя информация, содержащаяся в тождественном тексте, остается одной и той же, индивидуум не может ее воспринять, минуя в собственном мозге процесс синтеза информации.

Для мозга действуют аналоги причин (I — IV) увеличения энтропии. В частности, в силу отмеченных выше особенностей индивидуумов тождественное тиражирование информации тем не менее увеличивает энтропию, в том числе отнесенную к «единице объема».

Не всеми понимается, что заблуждения и непонимание в науке есть необходимый элемент развития науки — один из эквивалентов причин (II — IV) увеличения энтропии, необходимого для новой иерархической ступени синтеза информации. Не буду приводить иллюстрирующие это примеры, отсылая читателей к [8], но подчеркну, что в науке «флуктуации», «мутации» и прочие аналоги причин (II — IV) увеличения энтропии могут превращаться в «рак» — страшное, губительное (возможно, путь к самоуничтожению человечества) явление лженауки [8]. Отличительной особенностью лженауки является использование в научном споре в качестве критериев истинности аргументов, не имеющих отношения к методам и понятиям науки — национализма, шовинизма, репрессий, дележа званий, премий, должностей. Одно из непоравимых следствий возникновения очагов лженауки — запрет перехода на следующую ступень

иерархии синтеза информации, когда он возможен и необходим. А самое губительное следствие лженауки – изменение процессов самоорганизации ряда (9). Эволюция разума (как и эволюция жизни) не может возвращаться назад: следующие ступени иерархии базируются на предыдущих. Их искажение в результате действия лженауки необходимо и непоправимо – эволюция разума, науки, социальных систем не имеет цели в виде какого-то априорного понятия, закона, формулы.

Использую приведенные выше определения для пояснения отложенного в начале статьи о том, почему надо искать описание эволюции жизни и разума в терминах обобщений аналитической механики Лагранжа.

На уровне исходных аксиом – синтеза информации – одно из важных отличий аналитической механики Даламбера – Лагранжа – Гамильтона от механики Ньютона в определении силы как производной от энергии по обобщенной координате. Упрощенно это можно характеризовать как перестановку в аксиоматике причины и следствия. Поэтому количества синтезированной информации для механики Ньютона и механики Лагранжа – величины одного порядка: ценность информации для них по отношению друг к другу порядка единицы. Наглядно это выражается тем, что существует много задач, равноправно решаемых обоими методами. Но эволюция науки на основе аксиоматики Ньютона остановилась, а лагранжева механика привела к новому синтезу информации об аксиомах квантовой теории, гравитации, электромагнетизма, термодинамических силах и потоках, вариационном принципе Л. Седова [27] в механике сплошной среды. Хотя (как всегда для высоких ступеней иерархии) отличия количества информации новых ступеней малы, лагранжева механика за счет вклада в количество информации логических построений дала самый существенный во всей науке рост меры информации – энтропии. тем самым незаменимость связанной с ней информации согласно (18) оказалась велика.

При всем огромном диапазоне подходов к вопросам эволюции жизни участие в ней молекулярного уровня сегодня не оспаривается. Это означает, что незаменимая лагранжева аксиоматика уже участвует в описании жизни, т.е. сведение к ее уровню возможно и необходимо. Естественно, что без синтеза на ее основе новой информации (как всегда в науке) обойтись нельзя, но это ступень иерархии, которая обязана использовать из прошлого незаменимую лагранжеву информацию. Иной путь требует изменения фундаментальных основ современной науки.

§ 8. Иерархия энтропий и критерии истинности аксиом

Развитие науки, техники, ЭВМ привело человечество к такому уровню [8], когда *главное неизвестно? – границы контроля разумом его самого и продуктов его деятельности.* В связи с этим на первый план выходят когда-то чисто абстрактные вопросы о возможности оценить истинность суждений человеческого разума и в какой мере наблюдения могут быть критериями истинности. Ответ на эти вопросы формулируется косвенно – с помощью постулата о материальности окружающего нас мира, который к концу XIX века закрепился в виде: материально то, что ощущается человеком. Но именно тогда были сделаны фундаментальные работы, лишавшие принцип чувственных ощущений первичной исключительности. Ведь, например, важнейшую субстанциональную переменную процессов природы – энтропию – человек не может ощущать.

Можно отвлечься от особенностей органов чувств человека и попытаться сформулировать критерий материальности, исходя из известных физических законов. Например, на сегодняшнем уровне развития физики исчерпывающим критерием материальности является утверждение: все сущее одновременно удовлетворяет закону инерции и закону тяготения [28]. Но ведь выражающий это в физике принцип эквивалентности заведомо не является ни бесспорным, ни окончательным.

Дать ответ на вопросы об истинности суждений можно только на основе понимания принципов работы мозга. В этой статье и работах [6, 7] подчеркивалось, что главное во взаимодействии мозга и окружения – синтез информации. Логика для мозга вторична.

Проверка истинности суждений с помощью логических построений имеет детерминированный алгоритм, известный как доказательство теоремы, с помощью которого суждение сводится к замкнутой системе аксиом [29] (это проверка обратной, равновесной части системы). Но истинность самих аксиом в силу теорем Геделя и разъясняющей их трактовки Дж. фон Неймана (подробности см. [8]) не может быть проверена логикой. Аксиомы есть результат неравновесного процесса – синтеза информации в мозге. Поэтому в общем случае логическое доказательство не есть достаточный критерий истинности. Надо определить понятие истинности по отношению к аксиомам.

Синтез информации – это тот рубеж, на котором энтропия меняет свой смысл. В пределе слева она является характеристикой неопределенности, устранение которой создает информацию. В пределе справа она выражает количества информации, возникающие в результате ее синтеза. Правый предел есть нуль энтропии для новых признаков и условий. Суждение ее нулевой энтропией, с нулевой неопределенностью есть один из синонимов истинности. Но синтез информации – результат *запоминания* случайной выборки. Он описывается динами-

ческим процессом. Поэтому, находясь в *самой* предельной точке, нельзя констатировать факт запоминания: истинность может быть *определена* только с учетом особенностей процесса, реализующего запоминание.

Для количественного описания этого процесса прежде всего необходимо зафиксировать признаки и условия, определяющие *величину* энтропии $S_{k,i}$, которая будет принята за абсолютизированное начало координат, например систему счета в арифметике, аксиомы геометрии Евклида или какой-либо другой уровень синтеза информации.

В определение истинности аксиомы целесообразно включить количество информации, которую содержит синтезированная аксиома, т.е. величину скачка в точке синтеза информации. В относительных величинах с учетом выбранного начала координат ее характеризует (17) – ценность информации Z_k .

В интуитивном понимании истинность *связана* с долговременностью и пользой применения данной аксиомы. Количественно это характеризует величина незаменимости информации $M_{k,i}$, которая должна быть второй определяющей переменной для понятия истинности аксиомы.

После запоминания идет процесс накопления информации, использующий логику. Изменение количества информации за счет ее обработки должно включаться в определение незаменимости (в отличие от генетической информации, где потенциалы и температура в значительной мере отождествляются с физическими переменными). Их аналоги для логических преобразований ϵ, T непосредственно участвуют в описании информации, поэтому они также должны входить в число определяющих *переменных* задачи.

Процесс накопления информации *сопровождается* аналогами причин (I – IV) увеличения энтропии как меры неопределенности, *устранение* которой в процессе запоминания создает информацию. Для ступени иерархии, *которая* не завершена новым синтезом информации, энтропию, созданную аналогами процессов (I – IV), следует включить в количество информации, используемое при определении *незаменимости*. Иными словами, ошибки и непонимание в науке, если они возникают и оцениваются с позиций известных научных методов, есть накопление информации – *позитивный фактор* развития науки.

В число определяющих переменных *должно* входить число N новых этапов синтеза информации (возникших на основе роста количества информации с использованием данной аксиомы) и ценность синтезированной в них информации Z_N .

Факт возникновения новой ступени *иерархии* означает ограничение справедливости предыдущей аксиомы в пространстве объектов и во времени. Но парадоксальным образом аксиому абсолютизируют именно исключения, *нарушения* ее справедливости, указывающие границы ее применения [8]. Если известно (в терминах, используемых данной аксиомой), где и когда она ошибочна, аксиома превращается в *абсолютную* истину.

Закон сохранения механической энергии *абсолютен* (не может быть нарушен в рамках используемых им переменных) именно *потому*, что он ошибочен: в природе на макроскопическом уровне всегда существует трение, т.е. *связь* работы и тепла. Далее может понадобиться учет электромагнитной, химической, а потом ядерной энергии. Сегодня остаются неизвестными фундаментальные связи энергии с гравитацией и временем, а ведь общеизвестно, что закон сохранения энергии есть следствие однородности времени. Абсолютизация заведомо локальной системы аксиом лежит в основе широко используемого в науке метода моделей [27].

Эксперимент – только *равноправный источник* увеличения количества информации, создающего ее незаменимость, или участник процесса синтеза информации. Он не может быть априорным абсолютизированным гарантом, ни подтверждающим, ни опровергающим истинность аксиомы (примеры см. [8]).

Лженаука (использование в научном споре аргументов, не имеющих отношения к методам и понятиям науки) принципиально *отличается* от обычных для науки ошибок – она способна остановить развитие науки. Характеристику взаимодействия науки и лженауки можно определить величиной L – отношением скорости роста количества лженаучной информации к скорости роста количества информации (исключающего увеличение ее неопределенности по аналогам причин (I – IV), использованное с обратным знаком).

На основе введенных выше определяющих переменных, понятие истинности аксиомы, синтезированной на уровне иерархии k , можно оценить, находясь на уровне иерархии i , количественно в виде функции

$$A_{k,i} = f(S_{k,i}, Z_k, M_{k,i}, N, Z_N, \epsilon, T, \dots) \quad (19)$$

Равновесные состояния или обратимые *циклы* в рамках такого определения характеризуют абсолютную истинность, ошибочную *вне условий*, определяющих эти состояния и циклы.

1 Интересно, что трение [30] сохраняется в идеализированном случае неровных дифференциально абсолютно гладких поверхностей. "Нарушают" закон сохранения механической энергии волны.

Конкретный вид этой функции может быть разным для разных классов задач. Главное, что для мозга и ЭВМ понятие истинности может быть формализовано и оценено количественно.

Второе начало термодинамики относится к самым фундаментальным законам природы. Для энтропии по Клаузиусу справедливость второго начала термодинамики строго доказана для всех частных реализаций, поэтому его расширенная аксиоматическая формулировка (§ 1, п. 1 – 3) может претендовать на высокую количественную оценку истинности. Исходя из этого смена постулатов, т.е. сведение причин возникновения жизни и разума к следствиям второго начала термодинамики, открывает возможность эффективного применения хорошо разработанного для этой области математического аппарата при описании живых систем.

Выводы

1. Жизнь возникает и эволюционирует в силу самопроизвольности процессов, направленных в сторону роста энтропии: для конкретных соединений углерода, находящихся в определенных условиях, возникновение и эволюция жизни более вероятны, чем равновесное существование исходных для нее химических соединений.

2. Для жизни и разума невозможен прямой обмен информацией с окружением – обязателен предварительный синтез информации: Запись и чтение генетической информации, работа разума есть процессы в открытой системе, взаимодействующей с окружающей средой путем изменения нормировки энтропии.

3. Движущая сила эволюции жизни и разума может быть выражена в форме фундаментальных для всей науки обобщенных сил механики Лагранжа и их аналогов в неравновесной термодинамике, возникающих в процессе синтеза информации как результат изменения нормировки энтропии.

4. Первичен для возникновения жизни и разума принцип максимума производства энтропии при минимуме ее самой, созданном синтезом информации. Локальные состояния возникающего обобщенного потока регулируются, в частности, принципом И. Пригожина минимума производства энтропии.

5. Для жизни во всех формах характерно избыточное производство энергии при метаболизме, аккумулируемое в виде выделяемых «отходов» или функционально используемых продуктов.

6. Эволюцию жизни и разума по отношению к запоминаемой информации описывает ряд с уменьшающимися членами – иерархия энтропий. Понятие «прогрессивная эволюция» – процесс, описываемый таким рядом в условиях избыточного производства энергии. Эволюция не имеет цели в виде конкретного биологического вида, а разум не имеет априорных гарантий истинности аксиом, создаваемых в результате синтеза информации.

7. Возникновение в процессе синтеза информации обобщенной силы приводит к мягким и жестким режимам синтеза генетической информации, что объясняет классические противоречия для роли случайности в дарвинизме

8. Сформулированные принципы имеют прямое экспериментальное подтверждение, в частности, в опытах с мутациями быстроразмножающихся бактерий: во внешней среде, которая изменяет нормировку энтропии, мутации, согласованные с условиями внешней среды, имеют повышенную вероятность, а изменения среды, влияющие на частоту мутаций, но не затрагивающие нормировку энтропии, дают независимость генетической информации от условий внешней среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики. М.: Наука, 1977.
2. Климонтович Ю.Л. Турбулентные движения и структура хаоса. М.: Наука, 1990.
3. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации материи. М.: Мир, 1982.
4. Касплер Г. Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967.
5. Хазен А.М. // Биофизика. 1990. Т.35. № 5. С.864.
6. Хазен А.М. // Биофизика. 1991. Т.36. № 4. С.714.
7. Хазен А.М. // Биофизика. 1992. Т.37. № 1. С.105.
8. Хазен А.М. О возможном и невозможном в науке. М.: Наука, 1988.
9. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика. М.: Наука, 1982.
10. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика. М.: Изд-во иностр. лит., 1955.
11. Хазен М.М., Казакевич Ф.П., Грицевский М.Е. Общая теплотехника. М.: Высшая школа, 1966.
12. Mitchell P. // Nature. 1961. V.191. P.144.
13. Ленинджер А. Биохимия. М.: Мир, 1975.
14. Jaynes E. // Proc. IEEE. 1982. V.70. № 9. P.939.
15. Блюменфельд Л.А., Тихонов А.Н. // Биофизика. 1987. Т.32. № 5. С.800.
16. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983.
17. Неймарк Ю.И. // Природа. 1991. № 11. С.9.
18. Левонтин Р. Генетические основы эволюции. М.: Мир, 1978.

19. Cairns J., Overbaugh J., Miller S. // Nature. 1988. V.335. P.142.

20. Parker L., Hall B. // Genetics. 1988. V.119. P.485.

21. Luria S., Delbrück M. // Genetics. 1943. V.28. P.491.

22. Childress J., Felbeck H., Somero G. // Sci. Amer. 1987. V.256. № 5.

23. Марочник Л.С. // Докл. АН СССР. 1981. Т.261. № 3. С.571.

24. Хазен А.М. // Информатика в физико-химической газодинамике. М.: Изд-во МГУ, 1992. С.70.

25. Хазен А.М. // Биофизика. 1990. Т.35. № 1. С.168.

26. Хазен А.М. // Биофизика. 1990. Т.35. № 2. С.343.

27. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1980.

28. Хазен А.М. Поле, волны, частицы и их модели. М.: Просвещение, 1979.

29. Яновская С.А. Методологические проблемы науки. М.: Мысль, 1972.

30. Агаян В.А., Хазен И.А. // Квант. 1990. № 5. С.50.

Научно-исследовательский институт
механики Московского
государственного университета
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
02.02.1992