

А.Е. Тулинцев
(Пятигорск, Россия)

**ФИЗИКА ПАМЯТИ: ОТ АПЕРИОДИЧЕСКИХ
КРИСТАЛЛОВ И «ДИНАМИКИ ИНФОРМАЦИИ»
Б.Б.КАДОМЦЕВА [1] К СУПЕРВЕНЦИИ ВРЕМЕНИ.**

66 лет тому назад Эрвин Шрёдингер прочитал лекцию, в которой выдвинул идею атомно-молекулярного подхода к изучению живого, изложив её затем в книге «What is Life? The Physical Aspects of a Living Cell». Великий физик сформулировал основную идею: *жизнь - это существование аperiодических кристаллов*. Сегодня Г.Р. Иваницкий на страницах УФН даёт определение «жизни с точки зрения физики», поправляя классика: «...жизнь это результат процесса игры взаимодействий материи, в которой одна её часть приобрела свойство *запоминать* вероятности появления удач и неудач в предыдущих раундах этой игры, повышая тем самым свой шанс на существование в последующих раундах». Таким образом, ключевым понятием нового определения «живого», становится память, как результат взаимодействий.

Напомним, что немецкий психолог Герман Эббингауз в своём основном сочинении – «О памяти» в 1885 году вывел забывание как функцию времени (кривая Эббингауза). Опираясь на идею объективно-психологического исследования восприятий, Эббингауз подумал о том, что, может быть, память человека можно исследовать таким же образом. Он составил набор бессмысленных слогов, которые были записаны на отдельных табличках, затем случайным образом таблички извлекались и предъявлялись, в данном случае самому себе. Проверая через некоторое время свою собственную способность, вспомнить их через разные интервалы времени, им было обнаружено, что память в момент запоминания, проходит две фазы. Это, прежде всего короткая фаза, когда в течение нескольких минут после получения новой информации, мы способны хранить её почти всю. Затем происходит резкое уменьшение её объема, но оставшаяся после этого периода

информация хранится очень долго - она способна храниться на неизменном уровне в течение недель или даже месяцев.

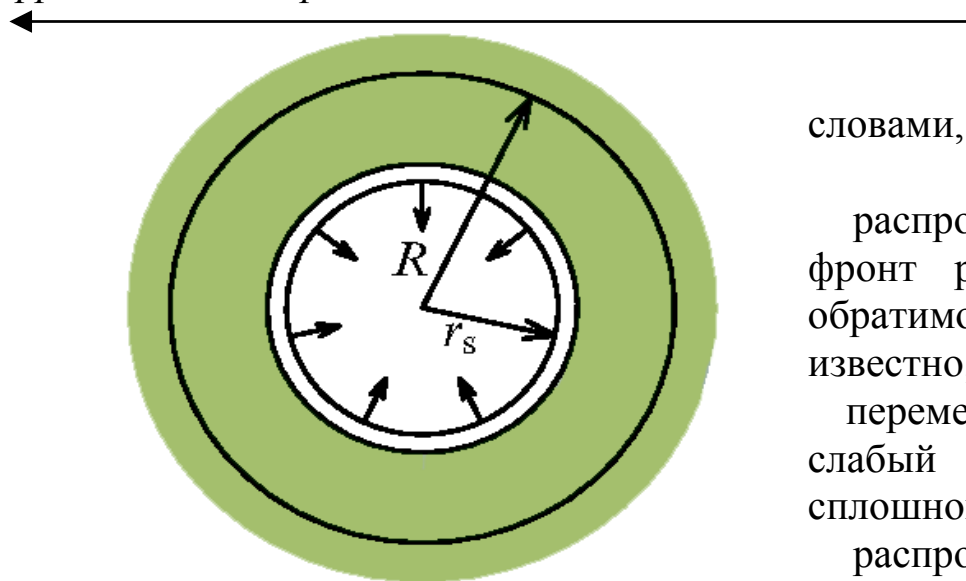
Американские психологи показали, в опытах на крысах, что они запоминают огромную массу вещей. Однако, если животным после того, как они выучили алгоритм решения какой-нибудь новой задачи, нанести интерферирующее воздействие, например, вызвать у них кратковременный приступ судорог электроконвульсивным шоком, то тогда, если эти судороги наносятся сразу после научения, они не способны запомнить на долгое время предлагаемую чуть ранее информацию. Позднее выяснилось, что когда животные учатся решению задач, в мозге происходит всплеск «экспрессии генов», происходит увеличение синтеза РНК и белка. И это происходит сразу после приобретения новой информации и перехода её в долговременную форму. Если животным, когда они учатся новой задаче, вводить ингибитор синтеза белка или РНК, препятствуя волне сопровождающей процесс научения, то это не дает сформироваться долговременной памяти. Позднее удалось расшифровать даже последовательность сигналов направленных к геному нервной клетки, работающих при обучении. Кроме того, выяснилось, что вводимый ингибитор «стирает» и память, записанную значительно раньше, а значит, каждый раз при запоминании сходных алгоритмов мозг перезаписывает активные участки памяти. Сегодня общепризнанно, что каждый акт познания – это маленький эпизод морфогенеза и следующего развития. Иначе говоря, наши знания, наша психика, наш разум, определяя процессы приобретения новых знаний, являются также триггерами и для дифференцировки клеток, хранящих эти знания.

Какова же физическая модель скачка в состоянии памяти. Рассмотрим некоторую упрощённую модель работы головного мозга по обработке сигнала – результата произошедшего взаимодействия. Пусть тогда мозг - некая сплошная среда с плотностью атомов n и он находится в сферическом сосуде радиуса R (упрощенная модель черепной коробки) с зеркальными стенками. Ясно, что такое состояние является идеальной экспериментальной системой с полной обратимостью движения во времени. Допустим теперь, что

стенки сосуда очень тонкие и что снаружи от сосуда находится точно такая же среда с той же средней скоростью теплового движения атомов и при той же самой плотности n . Пусть обе среды в среднем покоятся. Допустим, что внешняя среда находится в состоянии теплового равновесия, а её взаимодействие с внешним Миром происходит так, что внутри неё устанавливается молекулярный хаос. Будем считать, что длина свободного пробега частицы вещества λ гораздо меньше радиуса сосуда R .

Пусть в момент времени $t = 0$ оболочка, разделяющая две среды, исчезает. Тогда возникает начальный разрыв, разделяющий два объекта: внешний, находящийся в тепловом равновесии, и внутреннюю систему атомов, испытывающих сложное, полностью обратимое, движение. Ясно, что тепловое хаотическое движение внешнего объекта вместе с акустическим тепловым шумом должны приводить к хаотизации траекторий атомов внутренней среды. Одного удара хаотизированного движения достаточно для сбоя фазы траектории атома внутренней среды. Соответственно, внутрь области с обратимым движением атомов начнет распространяться фронт необратимости.

Перед фронтом движение частиц еще обратимо, а за фронтом - необратимо.



Другими словами, внутри сосуда распространяется фронт разрушения обратимости. Как известно, любой перемещающийся слабый разрыв в сплошной среде распространяется со скоростью звука

$$c_s = \sqrt{\frac{\gamma T}{m}}, \text{ где } \gamma \text{ — показатель адиабаты, } T \text{ — температура, } m \text{ —}$$

масса атомов. Соответственно, радиус сферы r_s с обратимым движением внутри будет схлопываться по закону $r_s = R - c_s t$. При $t = R / c_s$ область обратимости исчезает. За движущимся фронтом остается равновесное состояние с обычной случайностью траекторий атомов и с разрушенными далекими корреляциями между их движением. На самом фронте, шириной масштаба λ , происходит разрушение корреляций в движении атомов. А перед фронтом имеется классическая механическая система с совершенно определенной и, стало быть, единственной траекторией в фазовом пространстве. Замена t на $-t$ в такой системе меняет просто направление движения системы по траектории. Соответственно, мы должны считать, что никакого неупорядоченного движения внутри сферы радиуса r_s нет. Это значит, что энтропия системы атомов внутри сферы радиуса r_s равна нулю. А сразу же после прохождения фронта у равновесной среды появляется энтропия S (на единицу объема), которая может быть рассчитана по известным расчетам статистической физики.

Итак, главный физический процесс, происходящий на движущемся фронте, состоит в рождении энтропии от нуля до величины S на единицу объема. Процесс рождения энтропии необратим, поэтому фронт необратимости может двигаться только в одну сторону - в сторону обратимой механической системы частиц с нулевой энтропией. Выясним, как и из чего рождается энтропия. Для этого воспользуемся знаменитой формулой Больцмана:

$$S = k \ln \Omega$$

Здесь Ω есть число возможных микроскопических состояний системы при фиксированных макроскопических параметрах, например, плотности и температуры. А параметр k , получивший название постоянной Больцмана, возник только потому, что температура измеряется в градусах Кельвина, а энергия атомов измеряется в джоулях. Если условиться измерять температуру в тех же самых энергетических единицах, что и энергию атомов,

то следует положить $k = 1$. Этот выбор единиц нам более удобен, так что в формуле Больцмана мы будем считать $k = 1$.

Как известно, в классической механике число состояний Ω не определено точно. Но если, следуя принципу неопределенности

$$\Delta x \Delta p \approx \hbar,$$

разбить все фазовое пространство на дискретные ячейки размером $\Delta x \Delta p$, так что $\Delta x \Delta p \approx \hbar$, то величина Ω становится вполне определенной.

Условимся использовать это же самое дискретное ячейчатое пространство и для описания механического движения системы классических частиц. Тогда мы сразу же сталкиваемся с понятием информации. Рассмотрим нашу механическую систему атомов в некоторый фиксированный момент времени. В этот момент ее фазовая точка находится в одной единственной ячейке из Ω возможных ячеек. Можно сказать, что вероятность попадания в данную ячейку равна $p = 1 / \Omega$. Если учитывать все возможные ячейки, то систему атомов можно рассматривать как запоминающее устройство с информационной емкостью, соотношение Шеннона:

$$I = -\ln p = \ln \Omega$$

Именно такую информацию имеет классическая система атомов в любой момент времени. При эволюции во времени фазовая точка движется по очень узкой (шириной в одну ячейку) нити в фазовом пространстве, так что ее информация сохраняется. Если информация полностью стирается, то система атомов может попадать в любую из возможных ячеек, число которых равно Ω и при этом возникает совершенно хаотическое тепловое движение.

Итак, на фронте необратимости происходит полное стирание информации и превращение ее в энтропию. Перед фронтом мы имеем механическую систему с полностью детерминированным поведением во времени, а за фронтом - хаос теплового движения. Подчеркнем еще раз, что хаос теплового движения создается ничтожно малыми шумами из необратимого внешнего окружения. Динамика атомов среды

многократно усиливает этот хаос и превращает его в молекулярный хаос теплового движения.

В философском смысле, мы имеем возрождение уже на новом уровне идеи о генерации времени живым А.Бергсона. Напомним, что, переосмыслив понятие времени, Бергсон разработал концепцию *чистой длительности* (*durée*), изложенную им в первом крупном труде «Опыт о непосредственных данных сознания». В полемике с теориями психологического детерминизма и психофизики он описывает человеческое сознание как непрерывно, изменяющуюся, творческую реальность, как поток, в котором мышление составляет лишь поверхностный слой, подчиняющийся потребностям практики и социальной жизни. В глубинных же своих пластах сознание может быть постигнуто лишь усилием самонаблюдения (интроспекции) и интуицией, когда: «...самонаблюдение, позволяет обнаружить, что тканью психической жизни является непрерывная изменчивость состояний, которые незаметно переходят одно в другое, длятся. Эта длительность и составляет жизнь, сознание, структуру». Длительность есть взаимопроникновение состояний сознания, они непротяжённы и поэтому не могут быть расположены рядом друг с другом, они различаются не количественно, а качественно и потому не поддаются измерению и исчислению, как материальные объекты. Длительность, а стало быть, жизнь, имеет, по Бергсону, не пространственный, а временной характер. Это «качественное», «живое» время радикально отличается от понятия механическо-физического времени, которое, по мнению Бергсона, возникает в результате разложения интеллектом длительности.

В одном из наиболее влиятельных направлений современной западной философии, аналитической философии, центральное место занимает *корреляция между независимыми наблюдаемыми* или переменными – которую, выделяя из привычных терминов характеризующих взаимосвязь, называют – «*supervenience*» (супервенция, или супервентность). Стэнфордская философская интернет-энциклопедия даёт такое определение термина: «Ряд свойств А супервенирует другой

набор свойств - В если, никакие две вещи не могут отличаться относительно А-свойств, также, не отличаясь относительно их В-свойств». В форме тезиса там же добавляется, «не может быть А-различия без В-различия. Один из ведущих отечественных философов В. А. Канке отмечает, что влиятельные (в научном смысле) англоязычные авторы при анализе интертеоретических отношений широко используют термин *supervenience* (от лат. *super* - «сверх» + «*venire*» - происхождение), который, видимо, допустимо переводить на русский язык как супервенция. По определению совокупность признаков *A* супервенирует совокупность признаков *B*, если их наличие и изменение вызывается признаками *A*, но не объясняется ими. В этой связи уместно привести следующее пояснение, отмечает философ: «Физика испытывает затруднение при описании взаимодействия нескольких частиц (например, 100 или более). Если же частиц тысячи или миллионы, то используется аппарат статистической физики и соответственно объект предстает в некотором усредненном виде, в виде системы». Философское использование термина «*supervenience*» является строго специализированным этот термин является обобщением таких понятий как: «причина», «степень свободы», или «соответствие определенным правилам» - предупреждает Стэнфордская энциклопедия - термин «*supervenience*» близок по своему смыслу философскому термину «обуславливание».

Однако как мы видим истинно научный смысл, в большей степени совпадает с просторечием, чем с философскими «арабесками». Истинный смысл слова, произошедшего от латинского *supervenio*, что можно пояснить как: набегать, нахлынуть, например «*unda supervēnit undam*» — «волна набегает на волну»; накрывать, покрывать; неожиданно приходить, появляться; застигать врасплох. Ведь именно таков описанный нами механизм движения волнового фронта «необратимости». А значит супервенция - волновой процесс, который, интерферируя в геноме клетке и создаёт картинку возникновения феномена времени. Именно это позволяет Дж.Барбуру утверждать : «Unlike the Emperor dressed in nothing, time is nothing dressed in clothes » [6]. Таким образом - время это понятие эпистемологическое - системное качество или если

угодно - качество-система, определённая форма, конструкция, которую мы выделяем в познаваемом объекте (в данном случае в материи). Вообще говоря, в онтологическом плане система есть «многое, порождающее одно» или совокупность оснований, которые достаточны для создания единства сущего и оснований, его порождающих. Е.Б. Агошкова, прослеживая эволюцию понятия «система» в современной науке, отмечает, что в эпистемологическом плане следует говорить не просто «объект-система», или «система на объекте», но более точно – «система на объекте относительно качества объекта». Объект сегодня представляется множеством систем, каждая относительно определенного качества, где понятие система отражает нашу попытку ограничиться выделением свойств и отношений и утверждать, что именно они порождают качество целостного объекта. При таком подходе: «система С на объекте А относительно качества К объекта есть совокупность таких свойств объекта, находящихся в таких отношениях, которые порождают свойство K_c этой совокупности», и тогда возможно решение задачи прегнантности термина «время», при использовании философского определения системы и наполнения его физическим содержанием: «Т (время) это система на объекте М (от слова «материальный») относительно качества В (взаимодействия), есть совокупность таких свойств объекта, находящихся в таких отношениях, которые порождают свойство V_t этой совокупности».