

ТЕОРИЯ ВЕКТОРНО-БРОУНОВСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЕЕ СВЯЗЬ
С ТЕРМОДИНАМИКОЙ ИНФОРМАЦИИ И МЫШЛЕНИЯ

Упорядоченность и неупорядоченность, определенность и неопределенность, хаос и порядок есть наиболее общие свойства действительности, обнимающиеся понятием обобщенной энтропии.

Наибольшее значение для настоящей работы имеют смешанные формы явлений, совмещающие в себе элементы порядка и хаоса [1, 2]. Это смешение всегда встречается в информации, в некоторых формах мышления и в психике в целом. Введение обобщенной энтропии, обобщенной свободной и полной энергии требует простой и достаточно общей модели.

Всякое явление двойственно, оно содержит в себе некоторую векторную, направленную и некоторую броуновскую, хаотическую компоненту¹.

Броуновская компонента представляет неустранимый элемент всякого реального процесса, *подчиняющегося законам статистики и термодинамики*. Иными словами, в природе существует универсальное свойство, которое можно назвать неустранимым броуновским рассеянием, как увидим далее, имеющее, по-видимому, единственное исключение. Универсальность указанных компонент позволяет избрать векторно-броуновское движение как общую модель для введения обобщенной энтропии. При этом существенно, что эта теория может быть перенесена от неживых объектов (например, частичек эмульсий) на объекты живые различных биологических и психологических рангов. Как мы подробнее увидим далее, проблема порядка и хаоса тесно связана с теорией информации и мышления. Эта аналогия разбирается ниже.

Первый вопрос, который возникает в теории векторно-броуновских процессов, — как отличить три типа процессов: броуновское движение, векторное и смешанное векторно-броуновское. Проверка и демонстрация теории дается на движении живых объектов, у которых ясно выражены обе компоненты, легко доступные как наблюдению, так и вариации с помощью тропизмов и травм. Кроме

¹ Содержательное обсуждение общей проблемы хаоса и порядка дается в книге Ст. Бира [3] в дополнении «Мифология систем — под сводом сумерек».

того, живые объекты по существу ближе к области, рассматриваемой в этой работе.

Равновесие векторно-броуновских элементов явления

Всякое реальное движение, происходящее в обычном геометрическом или абстрактном пространстве, представляет сочетание отдельных пробегов и импульсов, слагаемых по некоторому закону. Если закон сочетания этих импульсов и отвечающих им пробегов есть закон случая, то движение имеет чисто броуновский характер, представляя обычную диффузию. Если, наоборот, каждый импульс или пробег λ векторизован, т. е. точно направлен по некоторой оси или к какой-либо целевой точке, то такое движение будет иметь полностью векторизованный характер. Средний наиболее общий случай смешанного векторно-броуновского движения будет иметь место тогда, когда из Z пробегов длиной λ и длительностью τ только некоторая η -я часть векторизована и приближает движущийся объект к целевой области, а остальная $(1-\eta)$ часть броуновизована и обуславливает броуновское рассеяние объекта и его область неопределенности. Таким образом, при вполне векторизованном движении $\eta=1$, при вполне броуновском $\eta=0$, при смешанном векторно-броуновском движении $1 > \eta > 0$. Всеобщий опыт показывает, что на упорядочение всякого явления всегда требуется затрата обобщенной работы векторизации, причем величине приложенного векторизационного потенциала отвечает определенная степень векторизации.

Таким образом, между векторной и броуновской компонентой явления существует равновесие, определяемое величиной приложенного векторизирующего Ψ -поля.

$$\begin{array}{ccc} \text{Броуновский элемент} & \rightleftharpoons & \text{векторный элемент} - (\varepsilon - \Psi) \\ \text{(пробег, импульс)} & & \text{(пробег, импульс)} \end{array} \quad (\text{I.1})$$

Здесь ε — энергетический эффект векторизации броуновского элемента явления, т. е. его пробега, работа ориентации пробега по векторной оси. Соответственно $-\varepsilon$ — энергетический эффект броунизации векторизованного элемента явления (пробега), являющийся эквивалентом «броуновских сил», характеризующих явление; Ψ — потенциал приложенного векторизирующего поля, компенсирующего броуновские силы явления. Если рассматривать этот процесс в векторной диаграмме, то ε будет отвечать энергии поворота элементарного пробега от орта \vec{k} , отвечающего броуновскому состоянию процесса и энтропии, до орта \vec{j} , отвечающего векторному состоянию системы и соответственно, его свободной энергии (см. гл. II). По общему закону статистического равновесия между векторным и броуновским состояниями явлений (или отдельного импульса) можно написать константу векторизации, которая выразится уравнением

$$K_{\text{вект}} = \frac{\eta}{1-\eta} = e^{\frac{\Psi-\varepsilon}{\varepsilon_0}}, \quad (1.2)$$

$$K_{\text{броун}} = \frac{1-\eta}{\eta} = e^{\frac{\varepsilon-\Psi}{\varepsilon_0}}$$

(ε_0 — модуль, аналогичный kT в уравнении Больцмана). Величины Ψ и ε можно представить в долях этого модуля в безразмерной форме

$$\Psi^0 = \frac{\Psi}{\varepsilon_0}, \quad \varepsilon^0 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}. \quad (1.3)$$

Опыт показывает, что в природе не существует систем, обладающих устойчивой упорядоченностью, т. е. векторной формой, и не поддерживаемых каким-либо векторизационным потенциалом. Это дает возможность высказать некоторое обобщение: в отсутствие векторизационных потенциалов устойчивы только броуновские, хаотические или стохастические формы явлений; всякое векторизованное (упорядоченное) явление всегда компенсировано соответствующим векторизационным потенциалом, т. е. оно способно возникнуть и устойчиво существовать только при наличии такого потенциала.

Таким образом, живому организму и его органам вплоть до мозга, до тех пор, пока они способны к выполнению векторизованных действий, начиная от упорядоченного движения до упорядоченного мышления, должен быть приписан определенный векторизующий Ψ -потенциал. В табл. 1 приведены основные характеристики векторно-броуновского процесса и их обозначения.

Таблица 1

Основные характеристики векторно-броуновского процесса	Обозначения
Общее число пробегов или импульсов	Z
Величина (длина) одного пробега	λ
Скорость движения объекта	u
Степень векторизации пробегов	η
Длительность одного импульса	τ
Число векторных пробегов	$Z\eta$
Число броуновских пробегов	$Z(1-\eta)$
Коэффициент диффузии	D
Полное смещение объекта (путь)	L
Векторное смещение объекта	L_V
Частота импульсов	ν
Векторизующий потенциал	Ψ
Работа поворота пробега λ от броуновской к векторной оси	ε

Обращаясь к простейшему действию живого существа — к его движению, можно сказать, что для беспорядочного движения медленных объектов, для которых длительность наблюдения соизмерима с длительностью свободного пробега (это не имеет места для взвешенных частиц, но относится именно к живым организмам), уравнение броуновского движения Эйнштейна — Смолуховского [4]

$$\bar{L}_B^2 = u\lambda t = Z\lambda^2 = 4Dt \quad (1.4)$$

уже недостаточно и должно быть заменено уравнением Орнштейна [4, 5]

$$\bar{L}_B^2 = 4Dt \left[1 - \frac{B}{t} (1 - e^{-\frac{t}{B}}) \right]. \quad (1.5)$$

Здесь \bar{L}_B^2 — средний квадрат смещения броунизирующего объекта за время t ; D и B связаны следующим соотношением с длиной пробега λ и скоростью движения u :

$$2D = \frac{\lambda u}{2}, \quad B = \frac{\lambda}{2u} = \frac{\tau}{2}, \quad u = \sqrt{\frac{2D}{B}}. \quad (1.6)$$

Число свободных пробегов или импульсов процесса Z связано с длиной пути L , λ , τ и t соотношением¹

$$Z = \frac{L}{\lambda} = \frac{ut}{\lambda} = \frac{t}{\tau}; \quad \frac{\lambda}{u} = \tau. \quad (1.7)$$

Это дает возможность представить уравнение Орнштейна в эквивалентных формах

$$\bar{L}_B^2 = \begin{cases} u\lambda t \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\tau}{t} (1 - e^{-\frac{2t}{\tau}}) \right] \\ Z\lambda^2 \left[1 - \frac{1}{2Z} (1 - e^{-2Z}) \right] \\ L\lambda \left[1 - \frac{\lambda}{2L} (1 - e^{-\frac{2L}{\lambda}}) \right] \end{cases} \quad (1.8)$$

При достаточной длительности наблюдения t и соответственно большом числе пробегов Z эти уравнения переходят в обычное уравнение броуновского движения Эйнштейна — Смолуховского (4), а для малых t дают равномерное движение со скоростью u

$$\bar{L}_B^2 = L^2 = (ut)^2. \quad (1.9)$$

¹ В этом и последующих уравнениях длина свободного пробега и скорость движения считаются постоянными на протяжении опыта.

Здесь нужно отметить существенный факт: когда мы наблюдаем какой-либо объект на отрезке времени, меньшем длительности его свободного пробега, то его движение всегда представляется векторизованным, и только достаточно длительное наблюдение может обнаружить существование броуновской компоненты. Это же относится и к информационно-мыслительным явлениям. Наложение на процесс некоторого векторизационного потенциала вызывает появление в нем степени векторизации η , что соответствует уменьшению числа броуновских пробегов до величины $(1-\eta)Z$ и одновременно появление векторизованной компоненты, равной $Z\eta$.

Прежде чем развивать эти математические представления, нужно сказать, что для того, чтобы задача имела общее решение, следует отказаться от обычных физических образов таких частично упорядоченных явлений, как, например, парамагнитный газ Ланжевена в магнитном поле или аналогичная ориентация дебаевских диполей в электрическом поле. Оба эти образа, как и всякая другая физическая модель, перемещаются в обычном евклидовом пространстве и подчинены законам ньютоновской механики, что накладывает на них частные ограничения в виде сохранения сил, сохранения энергии и количества движения и т. д. Как бы ни были универсальны подобные законы, их область — обычное геометрическое пространство и обычная механика. Поэтому искомым закон сложения импульсов или пробегов нужно освободить от каких-либо геометрических и механических ограничений. Для этого следует воспользоваться *принципом числа*, а не пространства и разделить все импульсы на две части: векторизованные $Z\eta$ и броунизированные $(1-\eta)Z$. Арифметическая сумма $Z\eta\lambda$ векторизованных импульсов дает величину смещения L_B изображающей точки вдоль некоторой векторной оси, для которой можно допустить любую форму. Сложение же площадей $Z\lambda(1-\eta)$ броуновских импульсов дает область неопределенности положения точки после Z импульсов, т. е. объем ее состояния в некотором абстрактном или геометрическом пространстве.

При таком способе исчисления импульсов безразлично, в какой последовательности будут возникать векторизованные и броунизированные импульсы, что, как правило, и недоступно прямому наблюдению. При этом не предполагается пристраивание одного векторизованного импульса к другому: эти импульсы возникают статистически, переслаиваясь броуновскими импульсами, и в результате дают определенную степень η векторизации пробегов.

Таким образом, при разделении импульсов используется тот принцип «да — нет» или «0—1», т. е. двоичное исчисление, которое сейчас применяется в теории информации и кибернетике. Такой числовой или кибернетический принцип определения импульсов является наиболее общим и меньше всего связывает теорию с конкретной природой процесса.

Если взять средний квадрат полного смещения $\overline{L^2}$ за время t , то

он представится в виде суммы средних квадратов векторных и броуновских компонент

$$\bar{L}^2 = \bar{L}_B^2 + \bar{L}_B^2 = u^2 \eta^2 t^2 + \lambda u (1 - \eta) t \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\lambda}{u(1-\eta)t} \left(1 - e^{-\frac{2u(1-\eta)t}{\lambda}} \right) \right]. \quad (1.10)$$

Для целей численного расчета удобно разделить эти выражения на t и пользоваться выражением

$$\frac{\bar{L}^2}{t} = u^2 \eta^2 t + \lambda u (1 - \eta) \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\lambda}{u(1-\eta)t} \left(1 - e^{-\frac{2u(1-\eta)t}{\lambda}} \right) \right]. \quad (1.11)$$

Уничтожение векторности, т. е. $\eta=0$, обращает уравнение (10)

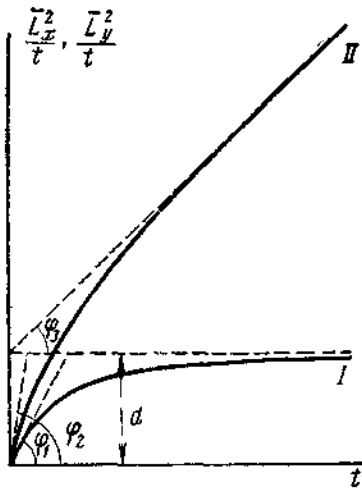


Рис. 1. Теоретические кривые векторно-броуновского ($\eta \neq 0$) движения. Кривая I соответствует броунов-

ской компоненте $\frac{\bar{L}_x^2}{t}$, причем

$$d = 2D(1 - \eta) = \frac{\lambda u(1 - \eta)}{2};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = u^2(1 - \eta)^2;$$

кривая II соответствует векторно-броуновской компоненте $\frac{\bar{L}_y^2}{t}$.

$$\frac{\eta}{1 - \eta} = K_{\text{вект}} = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{\operatorname{tg} \varphi_1}}; \quad \operatorname{tg} \varphi_2 = u^2 \eta^2; \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = u^2 \eta^2 + u^2(1 - \eta)^2.$$

Для случая чисто броуновского движения ($\eta=0$)

$$d = 2D = \frac{\lambda u}{2}; \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = u^2,$$

$$\frac{\bar{L}_y^2}{t} = \frac{\bar{L}_x^2}{t}$$

в исходное уравнение (8). Если речь идет о движении в пространстве, то удобно пользоваться не самим смещением частицы, а ее проекциями на оси x и y , т. е. величинами \bar{L}_x^2/t и \bar{L}_y^2/t , для которых легко найти аналогичное выражение. Если векторная ось совпадает с осью y (простейший случай), тогда

$$\frac{\bar{L}_x^2}{t} = \frac{1}{2} \lambda u (1 - \eta) \left[1 - \frac{1}{2} \frac{\lambda}{u(1-\eta)t} \left(1 - e^{-\frac{2u(1-\eta)t}{\lambda}} \right) \right],$$

$$\frac{\bar{L}_y^2}{t} = u^2 \eta^2 t + \frac{\bar{L}_x^2}{t}. \quad (1.12)$$

Если направление векторной оси неизвестно (общий случай), то расчет несколько усложняется, но остается возможным.

На рис. 1 представлена теоретическая зависимость $\bar{L}_{x,y}^2/t$ от t , отвечающая этим уравнениям. Там же показан способ определения векторно-броуновских характеристик объекта по этим кривым, а именно: скорости движения u , свободного пробега λ , степени векторности η . Общие признаки отсутствия или наличия векторной компоненты в движении следующие: 1) при чисто броуновском движении

$\frac{\bar{L}_x^2}{t} = \frac{\bar{L}_y^2}{t}$; 2) при векторно-броуновском движении:

а) $\frac{\bar{L}_y^2}{t} > \frac{\bar{L}_x^2}{t}$ (если ось y является векторной осью); б) величина

\bar{L}_x^2/t стремится со временем к пределу $\frac{\lambda u}{2} (1-\eta)$; в) разность

$$\frac{\bar{L}_y^2 - \bar{L}_x^2}{t} = u^2 \eta^2 t$$

представляет собой прямую, проходящую через начало координат с положительным угловым коэффициентом. При чисто броуновском движении эта разность равна нулю.

Объем состояния и обобщенная энтропия явления

Когда время пробегов и соответствующее число пробегов объекта достаточно велики и когда он успеет испытать значительное векторное смещение $Z\eta\lambda$, выражение для полного смещения упрощается¹

$$L = Z\eta\lambda \sqrt{1 + \frac{1}{Z\eta} \cdot \frac{1-\eta}{\eta}} \approx \underbrace{Z\eta\lambda}_{\text{вект смещение}} \pm \frac{1}{2} \frac{1-\eta}{\eta} \lambda. \quad (I.13)$$

«ширина состояния»

Величина ρ — «ширина состояния», т. е. ширина той области, в которой оказывается объект после Z векторно-броуновских пробегов, и численно равна константе броунизации, помноженной на пробег. Эта величина выражает размытость состояния объекта по векторной оси из-за неполной векторизованности пробегов. По той же причине движение объекта будет совершаться с «качанием» по броуновской оси (по оси x), причем амплитуда этого качания

¹ Поскольку выбор направления векторной оси произволен по знаку, то в дальнейшем будем оставлять знак +.

Все уравнения, в которые входят величины L , l , ρ , даваемые уравнениями (13) и (14), получены разложением в ряд и, следовательно, имеют приближенный характер. Поэтому значения всех характеристик для векторно-броуновских процессов, в том числе энтропии, справедливы только при условии достаточно большого Z и не слишком малого η , когда обрыв ряда на втором члене является допустимым. Продолжение ряда приводит к слишком громоздким, практически неприменимым уравнениям.

выразит размытость состояния по этой оси, которая определится из уравнения

$$l = \lambda \sqrt{2Z(1-\eta)}. \quad (I.14)$$

Таким образом, в результате Z пробегов с векторностью η и с величиной пробега λ изображающая точка или сам объект окажется в некоторой области с «шириной» ρ и с «амплитудой» l . Эту область определим как «объем состояния» V . В результате более или менее упорядоченного сложения пробегов изображающая точка покроет с некоторой средней плотностью область, которая выразит «объем процесса» Ω . Для броуновского процесса объем состояния и объем процесса совпадают

$$V_B = \Omega_B = Z\pi\lambda^2. \quad (I.15)$$

Для векторно-броуновского процесса

$$V_{B-B} = \frac{\pi}{4} l\rho = \frac{\pi\sqrt{2}}{4} \lambda^2 \sqrt{Z(1-\eta)} \frac{1-\eta}{\eta}, \quad (I.16)$$

$$\Omega_{B-B} = \frac{4}{3} L \sqrt{\rho L} = \frac{4}{3} Z\lambda^2 \sqrt{Z(1-\eta)}, \quad (I.17)$$

$$\rho = \lambda \frac{1-\eta}{\eta}. \quad (I.18)$$

Если отнести величины V и Ω к площади одного пробега $\pi\lambda^2$, то получим обобщенные безразмерные величины для объема состояния и процесса, которые пригодны для описания любого векторно-броуновского явления

$$V_B^0 = \Omega_B^0 = Z, \quad (I.19)$$

$$V_{B-B}^0 = \frac{1}{2} \sqrt{Z(1-\eta)} \frac{1-\eta}{\eta}, \quad (I.20a)$$

$$\Omega_{B-B}^0 = \frac{4}{3\pi} Z\eta \sqrt{1-\eta}. \quad (I.20b)$$

Объем наличного состояния V^0 , естественно, составляет часть объема всего процесса Ω^0

$$\frac{V^0}{\Omega^0} = \frac{3\pi}{8} \frac{1}{\sqrt{Z}} \frac{1-\eta}{\eta^2}. \quad (I.20в)$$

По мере развертывания процесса доля объема состояния в общем объеме процесса уменьшается. Она также, естественно, быстро уменьшается с увеличением степени векторизации.

Как видно из этих уравнений, объем состояния V меняется главным образом за счет «ширины состояния» ρ и резко уменьшается с ростом векторизации, «амплитуда» же l изменяется при этом зна-

чительно медленнее. Поэтому, введя некоторые упрощения, можно найти для объема состояния с достаточной точностью выражение

$$V_{B-B} \approx \frac{4}{3} \pi \sqrt{Z} \lambda^2 \frac{(1-\eta)^{3/2}}{\eta} \left(\frac{4}{3} \pi \lambda^2 \sqrt{Z} \right) e^{\frac{\epsilon-\Psi}{\epsilon_0}}. \quad (1.21)$$

Как видно, уменьшение векторизационного потенциала расширяет объем состояния, который в пределе при $\Psi=0$ и $\eta=0$ будет стремиться к объему чисто броуновского явления V_B .

Наоборот, усиление векторизационного потенциала сжимает явление, доводя его в пределе при $\Psi=\infty$ и $\eta=1$ до точечного состояния. Одновременно с этим траектория процесса сжимается в линию ($l=0$) и векторное смещение получает максимальное значение $L_B=L$.

Результат действия Ψ -поля проявляется и в изменении самой формы явления: шаровая симметрия, свойственная всякому броуновскому явлению в изотропном пространстве, теряется в этом поле, и явление начинает трансформироваться во все более суживающийся конус или треугольник (рис. 2). Этот «треугольник» или «конус» наблюдается во всех векторно-броуновских процессах.

Так как энтропия состояния определяется объемом той области V , в которой может находиться в конце своего пути данный объект или изображающая его точка, то векторизация явления должна резко снижать его энтропию. Выведенное уравнение позволяет установить связь между объемом состояния, эквивалентным фазовому объему, и этим потенциалом, т. е. между обобщенной энтропией и Ψ -потенциалом. Получаем выражения для безразмерных значений энтропии S^0 , выраженной через Ψ^0 , ϵ^0 , V^0 ,

$$\Psi^0 \sim \epsilon^0 - \ln V_{B-B}^0, \quad (1.22a)$$

$$S_{B-B}^0 = \ln V_{B-B}^0 = \epsilon^0 - \Psi^0, \quad (1.22б)$$

$$S_B^0 = \ln V_B^0 = \ln Z, \quad (1.22в)$$

$$\Delta S^0 = S_B^0 - S_{B-B}^0 = \Psi^0. \quad (1.22г)$$

Объемы состояний V_B^0 , V_{B-B}^0 выражены в числе элементарных ячеек.

Одному пробегу отвечает размерная обобщенная энтропия $V_B = \pi \lambda^2$, $\pi \lambda^2$ играет роль элементарной ячейки в квантовой статистике. Как видно, выражение Ψ -потенциала в зависимости от объема состояния V совершенно аналогично зависимости свободной энергии идеального газа или раствора от их молярного объема. Отсюда получается наглядное толкование величины векторизационного потенциала: *это есть работа сжатия объема состояния (явления)*.

Из этого же уравнения видно, что только бесконечно большому Ψ -потенциалу может отвечать бесконечно малый точечный объем

состояния и отсутствие энтропии. А так как в природе нет бесконечно больших потенциалов, то отсюда следует общий вывод, что в природе нет точечных состояний, что всякое реальное явление

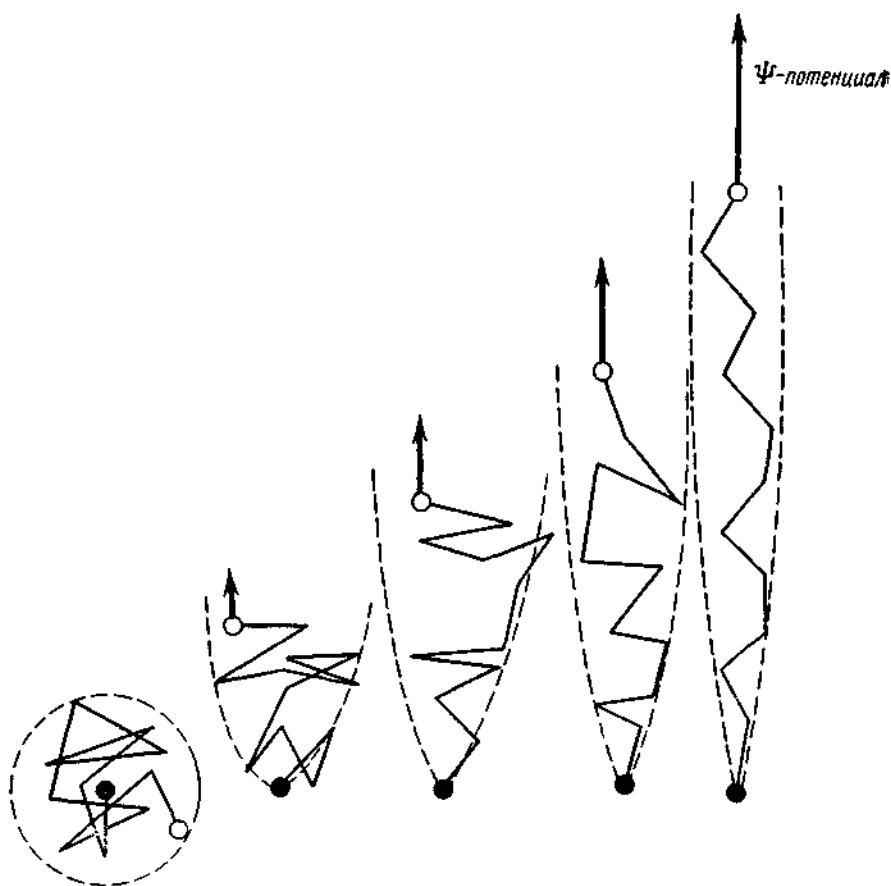


Рис. 2. Растягивание «броуновского клубка» явления в векторизующем Ψ -поле

имеет некоторый конечный объем, т. е. обладает областью неопределенности или броуновским рассеянием и, следовательно, обобщенной энтропией. Поэтому особенно разителен тот факт, что в области логического мышления оказывается возможным создавать такие конструкции (силлогизмы, теоремы, цепи доказательств), которые не обладают никакой долей неопределенности и, следовательно, безэнтропийны. Этот «парадокс мышления» будет подробно обсужден в главах IV—VI.

Из соотношения (21) следует, что сжатие состояния никогда не происходит самопроизвольно. Всякое уменьшение неопределенности состояния объекта, выражающееся в сжатии явления и уточнении его свойств, требует затраты обобщенной работы.

Эта работа может быть чисто физической, механической, электрической, магнитной, но она может и не иметь прямого физического эквивалента, выражаясь в работе психики, нервной корреляции, внимания, памяти, логики. Понятие психической работы в этом толковании является вполне правомерным: эта работа аналогична свободной энергии термодинамических процессов и измеряется сжатием объема психического явления. Если проанализировать такие основные психические функции, как логика, память, внимание и т. п., то можно увидеть, что их функция заключается именно в сжатии объема соответствующих явлений, сокращении области неопределенности состояния, в уточнении его свойств, вообще, в подавлении броуновской компоненты психического явления. Это становится особенно отчетливым, если противопоставить векторизационным формам психики соответствующие броуновские формы, например: логичность и беспорядочность мышления; волю и нерешительность (колебание между многими возможностями действия, неопределенность поведения); память и забывчивость (расплывчатость, неопределенность редуцирования явлений в сознании); внимание и рассеянность (неточность и неопределенность восприятия явлений), аккуратность и беспорядочность (неупорядоченность действий) и проч.

Проделанный анализ позволил, как мы видели, ввести понятие обобщенной энтропии явления, которая определяется его обобщенным объемом V совершенно так же, как энтропия идеального газа определяется объемом, занимаемым его частицами (см. уравнения (22)). Эти уравнения показывают, что наложение векторизационного поля, векторизуя и сжимая явление, снижает его обобщенную энтропию, причем это снижение точно компенсируется приложенным безразмерным Ψ -потенциалом. Поэтому в результате этой компенсации векторизация явления не изменяет его обобщенной полной энергии.

Изоэнергетичность процесса векторизации в Ψ -поле

$$E = \Psi + S \quad (I.23a)$$

(аналог уравнения Гиббса--Гельмгольца).

Для броуновского процесса $\Psi^0 = 0$

$$E_B^0 = S_B^0 \quad (I.23б)$$

Для векторно-броуновского процесса

$$E_{B-B}^0 = \Psi^0 + S_{B-B}^0 \quad (I.23в)$$

так как $\Psi^0 = S_B^0 - S_{B-B}^0$ (см. уравнение 22г), то

$$E_B^0 = E_{B-B}^0, \quad (I.23г)$$

т. е. ориентация пробегов в Ψ -поле не меняет полной обобщенной энергии системы ($E^0 = Z\lambda = L$).

Аналогично: при процессе информации распределение «частиц-шансов» между информационными ячейками (вариантами) не меняет полной энергии информационной системы (см. гл. III).

Таким образом, процесс векторизации способен изменять распределение энергии (вообще элементов явления) между векторной и броуновской (энтропийной) формой, не изменяя общего числа этих элементов, являющихся мерой обобщенной полной энергии явления. Можно видеть, что такие категории, как упорядоченность и неупорядоченность являются столь же фундаментальными для теории векторно-броуновского движения, как и для теории информации и мышления. Отчетливая связь между теорией броуновского движения и термодинамикой информации¹ обнаруживается также, если сравнить энтропию чисто броуновского движения изображающей точки и энтропию вполне вырожденной информации.

В первом случае изображающая точка с равной вероятностью может быть обнаружена в Z ячейках объема V_B^0 (размером $\lambda\lambda^2$), что дает для безразмерной энтропии такого броуновского движения выражение

$$S_B^0 = \ln Z. \quad (I.24)$$

Во втором случае вполне вырожденная информация отвечает числу равновероятных исходов или состояний информационной системы. Для такого случая шенноновская энтропия выразится тем же уравнением

$$H_{\text{инф}} = \ln Z. \quad (I.25)$$

Энтропия информации и энтропия поведения

В связи с этим приобретает большой интерес определение энтропии поведения живого объекта и сопоставление ее с энтропией специально даваемой ему информации. Естественно ожидать, что энтропийная информация будет дезорганизовывать, дезориентировать объект и повышать энтропию его поведения.

Прежде чем переходить к этому вопросу, нужно дать представление о самом методе обработки опытных данных. На рис. 3—6 представлены траектории движения живых объектов, из которых, а также из других аналогичных опытов, по теоретическим уравнениям (12) и рис. 1 могла быть вычислена степень векторизации η .

¹ Не случайно, что один из основателей кибернетики Н. Винер также занимался теорией броуновского движения, но в ином аспекте, чем излагается здесь.

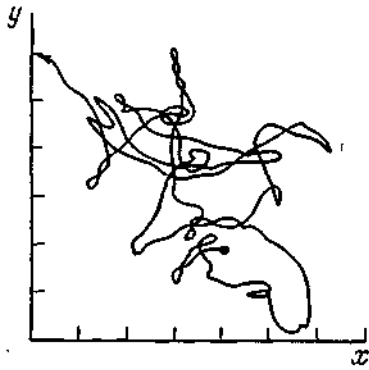


Рис. 3. Траектория движения *Parataesius* (по Пржибраму [6])
 Масштаб 1 см = 0,27 мм; время наблюдения — 192 сек

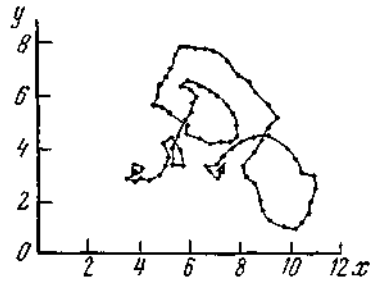


Рис. 4. *Aphidodea* (тля) нормальная (маленький экземпляр). Траектория движения

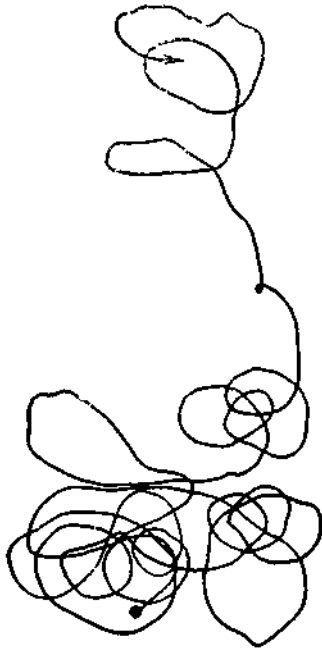


Рис. 5. Траектория движения тренированной *Coccinella septempunctata* (божьей коровки) № 3

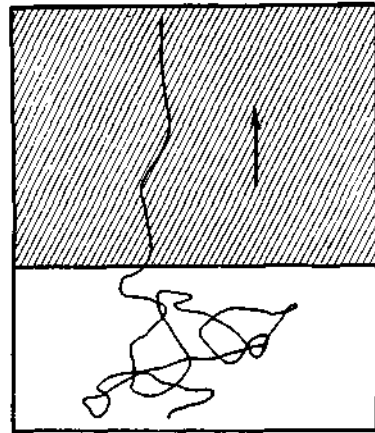


Рис. 6. Изменение траектории движения молочной планарии при переходе из освещенного пространства (броуновское движение) в затемненное (векторизованное движение) (по Эллиотту [2])

объем состояния и обобщенная энтропия S^0 . На рис. 7 для сравнения представлена диаграмма заведомо броуновской частицы по Перрену [7], кривые на рис. 8—10 иллюстрируют применение теории к опытным данным. Как видно, теоретические уравнения (12) и построенная по ним диаграмма $\bar{L}_{x,y}^2/t$ по t хорошо согласуются с опытом и позволяют определить основные параметры векторно-броуновских процессов. При этом видно, что маленький экземпляр *Aphidodea* (тли) (рис. 9) и сильно травмированный экземпляр *Coccinella septempunctata* (божьей коровки) (рис. 8) показывает такое же вполне броуновское движение, как и одноклеточная *Paramecium* (рис. 11).



Рис. 7. Диаграмма броуновского движения взвешенной частицы (по Перрену)

У всех у них $\eta=0$, хотя они, конечно, существенно отличаются по длине пробега, скорости движения и частоте импульсов. Рис. 10 дает диаграмму для частично броунизированного экземпляра *Coccinella* ($\eta=0,29$), весьма близкую к теоретической диаграмме.

В опытах по влиянию энтропии информации на энтропию движения наблюдение проводилось в двух условиях: в отсутствие специальной информации (раздражителя—света) и в условиях наложения раздражителя с определенной и различной энтропией информации ΔH , которая достигалась перемещением источника света разной мощности по периметру той плоской кюветы, на которой изучалось движение живого организма (отметим, что планария характеризуется отрицательным фототропизмом). Конечно, эта информация обладает энтропией только для планарии, но не для экспериментатора, задающего программу.

Источник света, как правило, перемещался с временным интервалом, меньшим длительности свободного пробега. Поэтому свободные пробеги планарии должны были при этом изламываться, и траектория закручиваться в более узкий броуновский клубок. Это и наблюдается при сличении траектории движения этого объекта в отсутствие и при наличии добавочной энтропии информации (рис. 12—13 и табл. 2). Табл. 2а, б количественно иллюстрирует влияние добавочной энтропии информации ΔH на увеличение обобщенной энтропии движения планарии ΔS^0 при прохождении объектом одного и того же пути — $\sim 15 \text{ см}^1$. Видно, что добавочная

Источник света, как правило, перемещался с временным интервалом, меньшим длительности свободного пробега. Поэтому свободные пробеги планарии должны были при этом изламываться, и траектория закручиваться в более узкий броуновский клубок. Это и наблюдается при сличении траектории движения этого объекта в отсутствие и при наличии добавочной энтропии информации (рис. 12—13 и табл. 2). Табл. 2а, б количественно иллюстрирует влияние добавочной энтропии информации ΔH на увеличение обобщенной энтропии движения планарии ΔS^0 при прохождении объектом одного и того же пути — $\sim 15 \text{ см}^1$. Видно, что добавочная

¹ Исходные данные обрабатывались на ЭВМ «Сегуль» для получения средних квадратов смещения объектов.

энтропийная информация способна полностью броунизировать поведение объекта, сведя величину η к нулю. При этом свободные пробеги и их длительность, как правило, уменьшаются, и значительно возрастает энтропия поведения. Источником информационной энтропии являлась в одном случае сорокаваттная лампочка

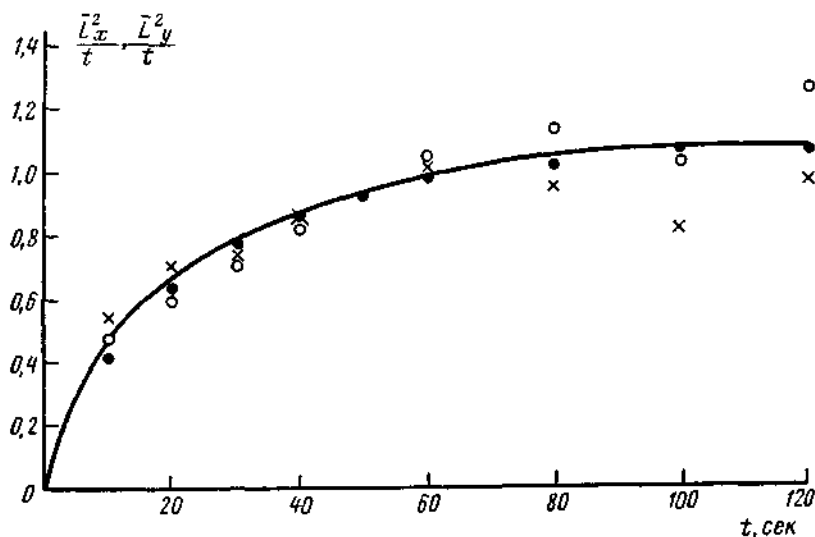


Рис. 8 *Coccinella septempunctata* (травмированная) — полностью броунизированная

(дававшая эффективную мощность около 10 вт), которая перемещалась по периметру прямоугольной кюветы с остановкой в центре каждой стороны и со световой экспозицией 30 или 60 сек, в другом — сильно диафрагмированная лампа-вспышка, которая перемещалась таким же образом, но давала очень короткие (0,5 мсек) и мощные импульсы (~ 400 вт).

Соотношение между изменением энтропии поведения и энтропией информации на одном и том же пути процесса может быть выражено уравнением

$$\Delta S^0 = \kappa \Delta H,$$

где κ имеет смысл коэффициента усвоения энтропии информации движущимся объектом. Эта величина приведена в предпоследнем столбце табл. 2 а, б. Степень усвоения броунизирующей информации оказалась довольно значительной и не слишком менялась в зависимости от интенсивности и длительности светового сигнала. Величина κ составляла в среднем для энтропии объема процесса 50%, для энтропии состояния — 25% (для лампы-вспышки соотно-

Таблица 2*

Влияние энтропии информации на энтропию поведения *Dugesia* (планарии), обладающей отрицательным фототропизмом.

а) Источник информации—лампа мощностью 40 *вт*, перемещаемая по периметру кюветы, как описано в тексте

№ объекта	№ опыта	Характер опыта	η	λ , см	τ , сек	В битах			$\%_{\Omega}$, %	$\%_{V}$, %
						ΔS_{Ω}^0	ΔS_V^0	ΔH		
I	69	контроль** + перемещающийся источник света $\Delta t_{\text{свет}} = 30 \text{ сек}$	0,35	3,0	70					
	71		0	1,6	29	4,3	2,1	8	54	48
II	72	контроль условия опыта № 71 + перемещающийся источник света $\Delta t_{\text{свет}} = 30 \text{ сек}$ $\Delta t_{\text{выкл}} = 30 \text{ сек}$ + перемещающийся источник света $\Delta t_{\text{свет}} = 60 \text{ сек}$ $\Delta t_{\text{выкл}} = 60 \text{ сек}$	0,3	2,4	53					
	73		0	1,0	22	4,5	1,8	8	56	23
	74		0	2,0	43	4,6	2,0	10	46	20
	76		0	2,1	57	5,2	2,5	10	52	25

* Вычислено по данным Терентьевой З. А., полученным в нашей лаборатории.

** Контрольные опыты проводились в условиях постоянного рассеянного света от источника, расположенного над кюветой.

б) Источник информации — диафрагмированная лампа-вспышка (энергия диафрагмированной лампы за время вспышки 0,2 *дж*, Δt вспышки $\sim \frac{1}{2000}$ *сек*, мощность $\sim 400 \text{ вт}$) включалась 1 раз в 30 *сек*, перемещалась так же, как и лампа 40 *вт*

№ объекта	№ опыта	Характер опыта	η	λ , см	τ , сек	В битах			$\%_{\Omega}$, %	$\%_{V}$, %
						ΔS_{Ω}^0	ΔS_V^0	ΔH		
III	111	контроль + перемещающаяся лампа-вспышка	0,84	3,0	76					
	113		0	4,5	119	2,2	4,3	10	22	43
IV	118	контроль условия опыта № 113	0,8	2,6	55					
	119		0	8,2	171	1,1	3,1	10	11	31
V	121	контроль условия опыта № 113	0,53	9,4	137					
	124		0,24	5,6	100	-0,4	2,4	10		24

в) Источник информации — неподвижный источник света (лампа — 40 вт)

№ объекта	№ опыта	Характер опыта	η	$\lambda, \text{см}$	$\tau, \text{сек}$	В битах за время опыта
						ΔS^*
VI	60	контроль постоянное боковое освещение $\Delta t = 1800 \text{ сек}$	0	6,8	158	—3,6
	62		0,57	3,5	95	
VII	61	контроль условия опыта № 62	0,5	5,5	98	—2,7
	63		0,81	4,9	104	

шение величин существенно иное — ΔS_V больше ΔS_Ω). Если разделить χ на количество энергии в джоулях, которое подается за все время движения планарии, получается параметр, показывающий степень усвоения энтропии информации, отнесенную к мощности источника информации. При этом выясняется существенное и очень большое различие между постоянно действующим источником света и короткой вспышкой, аналогично перемещающимися по периметру юветы. В первом случае χ , отнесенная к джоулю, составляет $\sim 3,5 \times 10^{-4}$, во втором случае $\sim 2000 \times 10^{-4}$, т. е. в ~ 600 раз больше.

Перемещение лампочки накаливания осуществляло переменный по направлению фототропизм и этим броунизировало движение

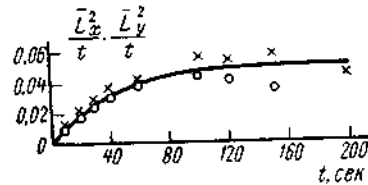


Рис. 9. *Aphidodea* (маленький экземпляр) — чисто броуновское движение

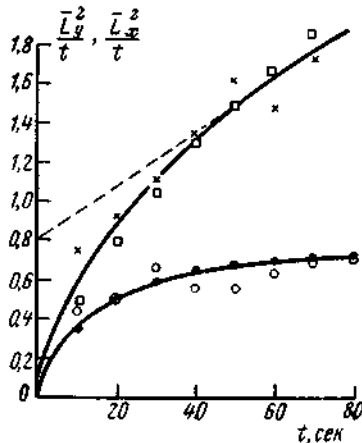


Рис. 10. Уравнение движения травмированной *Coccinella septempunctata* (божья коровка)

$$\frac{\bar{L}_x^2}{t} = 0,8 \left(1 - 8 \frac{1 - 10^{-0,0524t}}{t} \right);$$

$$\frac{\bar{L}_y^2}{t} = (0,126)^2 t +$$

$$+ 0,8 \left(1 - 8 \frac{1 - 10^{-0,0524t}}{t} \right)$$

планарии. Броунизирующее действие лампы-вспышки носило, очевидно, другой характер, так как общая длительность воздействия

световых импульсов за все время движения планарии (35—45 мин) составило всего 0,04 сек или 0,002% от всего времени. Для осуществления тропизма этого слишком мало. Поэтому здесь следует говорить о «шоковом» действии коротких мощных вспышек на экземпляры планарий, которые были способны приводить к полной броунизации их траекторий (табл. 2б). В отличие от лампочки накаливания лампа-вспышка не сокращает, а удлиняет длительность свободных пробегов и их величину.

В табл. 2в приведены опыты по действию постоянно направленного источника света (лампа мощностью 40 вт) на движение планарии в течение прохождения всех 100 см пути (30 мин).

Естественно, что такой направленный раздражитель является уже источником не броунизирующего, а векторизационного потенциала, упорядочивающего движение объекта. Этот потенциал может быть измерен в единицах условной «отрицательной энтропии». Как показывает последний столбец табл. 2в, за 30 мин этот источник векторизационного потенциала выдал в среднем 3,15 бит отрицательной энтропии, или 0,05 бит/мин. Подчеркнем, что эта отрицательная энтропия не имеет смысла работы (как неэнтропия

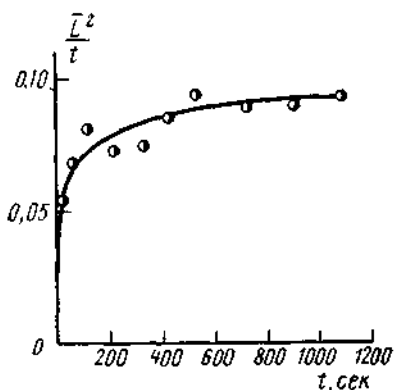


Рис. 11. *Paramecium* в воде с добавкой раствора трангана (построено по опытам Фюрта [8])

Бриллюэна) и не связана с работой, произведенной объектом, которая была практически постоянной, поскольку путь во всех случаях был одинаков. Это — именно источник векторизационного потенциала, эквивалентного подводу «отрицательной энтропии», который способен упорядочить как траекторию незначительной по массе планарии, так (конечно, при надлежащем воспринимающем устройстве) и многогонного грузовика, самолета или ракеты. Однако это векторизирующее поле не способно полностью уничтожить энтропию поведения, в данном случае движения (см. выше) и в этом смысле оно принципиально отличается от

той существенно отрицательной энтропии, подвод которой ведет к вполне упорядоченному мышлению (см. гл. IV).

Хотя теория информации применяется и к живым и к неживым объектам, но наиболее содержательным ее применением, конечно, является мир биологии и психики. Поэтому большое значение для живых организмов имеет вывод относительно изодинамичности векторно-броуновских процессов. Эта изодинамичность или изоэнергетичность характеризует также процессы информационные (см. гл. III).

Наряду с изодинамичностью живой организм может резко отличаться своими векторными характеристиками. Динамическая энер-

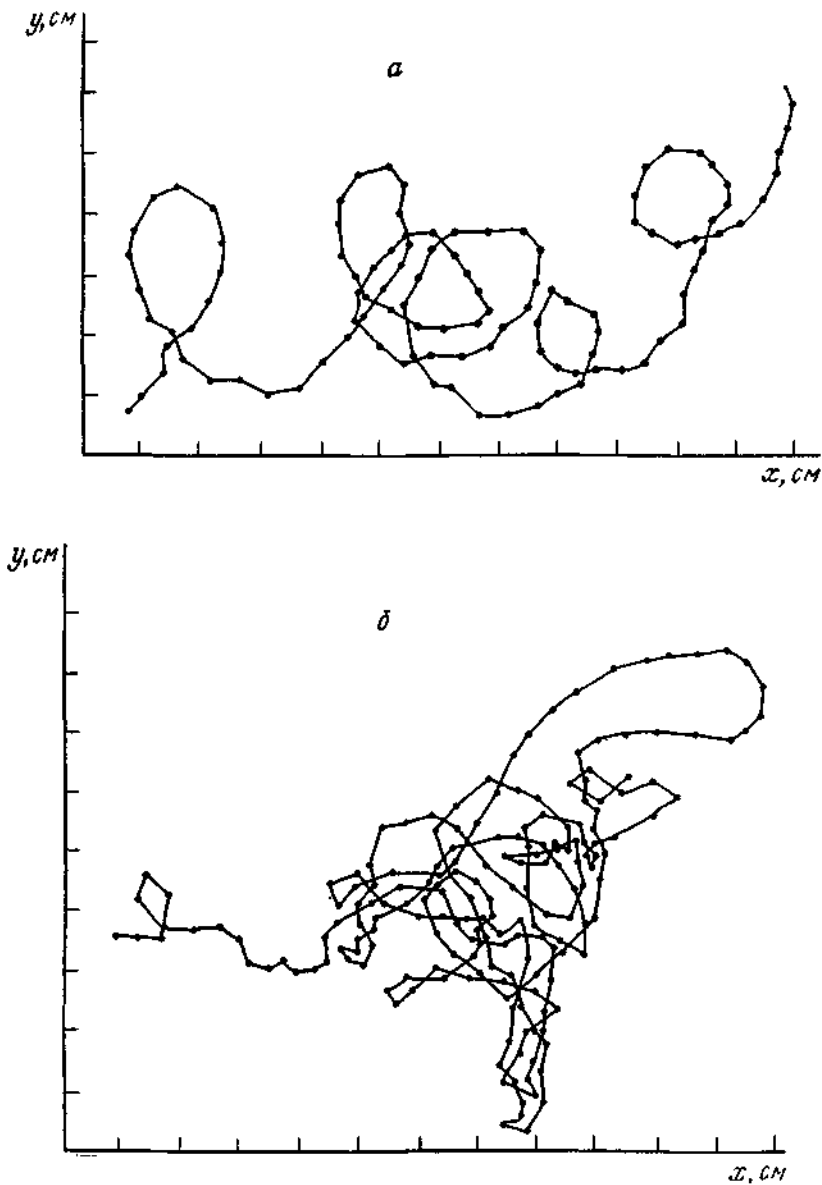


Рис. 12. Броунизирующее действие дополнительной энтропии информации на траекторию движения *Dugesia* (планария):
а — (опыт 69) без дополнительной энтропии информации;
б — (опыт 71) с дополнительной энтропией информации в виде перемещающегося источника света (по данным З. А. Терентьевой)

гия движения для живого организма определяется только длиной траектории и не зависит от того, в какие петли она завита. Отсюда вытекает вывод принципиального значения, что растяжение броуновской траектории живого существа в Ψ -поле не требует затраты обычной (калорической) энергии, и векторный и броуновский пути данного экземпляра представляют вполне изодинамические процессы.

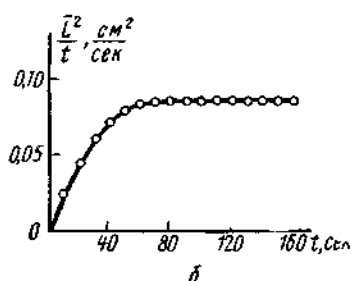
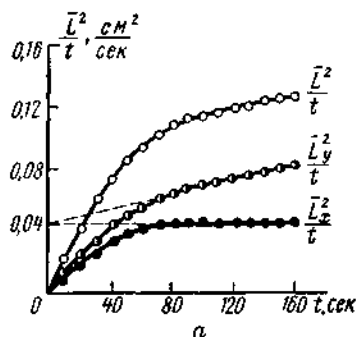


Рис. 13. Преобразование векторно-броуновской диаграммы (а, опыт 69) в чисто броуновскую (б, опыт 71) при введении дополнительной энтропии информации в виде перемещающегося источника света (по данным З. А. Терентьевой)

Подобная особенность траекторий живых организмов, взятых не только в геометрическом, но и в абстрактном пространствах, принципиально отличает их от молекулярных объектов, так как траектория этих последних не может быть распрямлена без затраты работы, но только путем приложения какого-либо поля, совершающего работу над объектом.

Различные виды мыслительной деятельности, не имеющей, как известно, калорического эквивалента, также изодинамичны. Различие этих структур лежит именно в обобщенной векторизационной энергии («энергии порядка»), которую они содержат. Поэтому для полной характеристики явления и особенно явлений биопсихологических, безусловно, недостаточно одной динамической энергии, но необходимо взять сумму динамической и векторизационной энергий, выраженных в сопоставляемых безразмерных

единицах (например, в числе единиц средней газокINETической kT и модуля ϵ_0).

Динамическая энергия $E = Z\lambda$ — энергия действия в соответствующем пространстве, векторизационная энергия Ψ — энергия порядка.

Динамическая энергия проявляется в двух формах: в векторной $E_B = E\eta$, дающей объекту направленное смещение в его пространстве действия, и в броуновской $E_B = E(1-\eta)$, расширяющей объем состояния и процесса. Отсюда $U_{\text{полн}} = (E_B + E_B) + \Psi$. Физическая работа совершается только за счет изменения динамической энергии ΔE , изменение же упорядоченности может происходить без затраты такой работы, за счет изменения векторизационной энергии $\Delta\Psi$. Поэтому энергия — это не только способность совершать ра-

боту, но также способность создавать и изменять любые виды порядка в природе.

Появление или изменение всякого порядка, частным случаем которого является беспорядок, всегда сопряжено с затратой, выделением или видоизменением *полной* энергии системы, включая сюда Ψ -энергию.

Нужно указать, что было бы неправильно видеть в броуновской компоненте только неупорядоченность и неточность действия — факторы вредные и ненужные для живого организма. Броуновская компонента, так же, как и векторная, имеет свою определенную функцию. Функция векторной компоненты — *перекрывание интервала между состояниями*, т. е. упорядоченное целевое смещение объекта. Функция броуновской компоненты — *заполнение области состояния объекта*, т. е. покрытие ее с определенной плотностью, ведущее к расширению объема явления и к внесению в состояние объекта некоторого разнообразия. Это то же разнообразие, которое характеризует и шенноновскую энтропию информации.

Броуновская компонента играет двойную роль в жизнедеятельности на всех ее этапах. Она не только компонента неупорядоченности, но и *компонента поиска*. Броуновское рассеяние, отклоняя организм от намеченной векторной траектории (намеченной, может быть, даже и ошибочно), сталкивает его с новыми элементами действительности, могущими быть ему полезными, т. е. сообщает ему разнообразную информацию. Наибольшая обобщенная энтропия информации и энтропия поведения отвечает броуновскому процессу $H_{\text{инф}} = S_B^0 = \ln Z$, но при этом утрачивается векторное направленное смещение.

Роль векторной и броуновской компонент явления

Нужно, однако, обратить внимание на существенно различное изменение объема явления V и объема процесса Ω при наложении векторизационного потенциала и увеличении η : объем явления непрерывно сжимается по мере векторизации, объем же процесса, т. е. область, которую с некоторой плотностью покрывает объект при своем движении, *проходит через максимум* при определенной степени векторизации $\eta_{\text{макс}} = 2/3$. Этот результат получится путем решения на максимум $\Omega_{B-B} = f(\eta)$, выражаемой уравнением (206). При $\eta = 2/3$ объект покрывает при своем движении наибольшую площадь

$$\Omega_{\text{макс}} = 0,51Z\lambda^3 \quad (I.26)$$

с максимальной скоростью заполнения

$$\left(\frac{d\Omega}{dZ}\right)_{\text{макс}} = 0,75\sqrt{Z}\lambda^3. \quad (I.27)$$

Скорость заполнения при чисто броуновском процессе

$$\left(\frac{d\Omega}{dZ}\right)_B = \pi\lambda^2. \quad (I.28)$$

Как видно, уже при небольшом числе пробегов ($Z > 15$) направленный конус векторно-броуновского движения при $\eta = 2/3$ по скорости обгоняет сферическое заполнение области и тем сильнее, чем больше Z . Рис. 2 иллюстрирует эти отношения.

Существование максимальной степени векторизации, отвечающей наиболее эффективному поиску, не позволяет придерживаться представления о полезности 100%-ной монотонной направленности мысли, воли или психики. Эти свойства характерны для деятельности маньяка, но не нормального, разумного существа. Некоторая умеренная доля броуновского разброса и за счет этого получение дополнительной информации также необходима, как большая степень направленности¹.

Вывод, к которому приводит теория векторно-броуновских процессов, тот, что функция энтропии поведения и энтропии информации по существу тождественны и сводятся к тому, чтобы привести объект в соприкосновение с достаточным разнообразием элементов действительности, совмещая это с направленностью его действия.

В табл. 3 сведены векторно-броуновские характеристики некоторых биологических объектов. Они показывают, что живое существо путем травмы, т. е. нарушения его нервной регуляции, может быть полностью лишено векторизирующего потенциала и превращено в огромную броуновскую частицу. Такие же эффекты возникают и в психике, в том числе в информационно-мыслительной деятельности, при ряде заболеваний, травмах, действии наркотиков и проч. Уже одна походка пьяного человека, анализом которой занимался еще Рэлей, ясно обнаруживает броунизирующее действие алкоголя; аналогично оно сказывается на общем поведении и мышлении.

В последней строке табл. 3 приводится объем состояния на 1 г биологической массы объекта в $см^2/г$. Видно, что, например, нормальная *Coccinella septempunctata* (божья коровка) при движении занимает объем состояния $V = 25 см^2$ на 1 г биологической массы. При травмировании, дающем неполную броунизацию, этот объем поднимается до $66 см^2/г$, полная же броунизация поднимает его до $9000 см^2/г$.

Чем меньше объект, тем больше область, приходящаяся на 1 г биологической массы. Поэтому нормальная *Aphidodea* (маленькая

¹ Этому мы можем найти многочисленные подтверждения в чисто биологической области. Например, форма хромосом имеет вид изломанных траекторий с величиной элементарного «пробега» λ , отвечающей размеру хромомеры, и со степенью векторизации, близкой к $2/3$. При этом соблюдается правило Хенсена, что число хромосом может значительно варьировать, но суммарная длина хромосом, отвечающая общему пути L , является физической константой, независимой от числа хромосом.

тля), которая показывает почти броуновское движение, обладает объемом состояния уже в $500\,000\text{ см}^2/\text{г}$, а у *Paramecium* он достигает $500\,000\,000\text{ см}^2/\text{г}$, т. е. в 20 млн. раз больше, чем у *Coccinella*. Для молекул газа в нормальных условиях этот объем составляет около $10^{13}\text{ см}^2/\text{г}$, т. е. примерно в 100 000 раз больше, чем у простейших.

Таблица 3
Векторно-броуновские характеристики некоторых биологических объектов

Объект	<i>Coccinella septempunctata</i> нормальная	<i>Coccinella septempunctata</i> травмированная	<i>Coccinella septempunctata</i> травмированная	<i>Aphidodea</i> нормальная	<i>Paramecium</i> нормальная	
					в чистой воде	в растворе грангана**
Скорость движения и см/сек	0,27	0,44*	0,32*	0,054	0,0200	0,0134
Длина свободного пробега λ , см	1,6	2,3	2,4	1,9	0,04	0,026
Длительность пробега τ , сек	6,7	5,0	7,6	34	2,0	2,0
Частота импульсов ν , 1/мин	9	12	8	1,9	30	30
Степень векторизации η	0,90	0,29	0	0,22	0	0
Объем состояния (после 100 пробегов) V , см ³	5	138	1800	192	0,50	0,21
Обобщенная энтропия движения (после 100 пробегов) S	0,7	2,14	3,25	—	8,0*	7,6*
Объем состояния на 1 г биологической массы, см ² /г	25	660	9000	500 000	$5 \cdot 10^6$	—

* Энтропия здесь приведена к числу *Paramecium* по весу, эквивалентному одному экземпляру *Coccinella* путем приведения объема состояний к весу *Coccinella*.

** В среде с большей вязкостью.

Изоморфизм векторно-броуновских процессов

Совмещение в процессах векторной и броуновской компоненты и их широкая вариация, как это видно из табл. 2 и 3 для живых объектов, делают возможным существование изоморфных векторно-броуновских процессов. Такие процессы обладают одинаковыми параметрами, определяющими их форму в пространстве действия, а именно: векторным смещением L_v , шириной состояния ρ , его амплитудой l — и отсюда одинаковыми V и Ω и обобщенной энтропией. Эти изоморфные процессы дают одинаковые *макроскопические* эффекты, но отличаются по своим внутренним параметрам —

по числу пробегов Z , их длине λ и степени векторизации η , что приводит к различному соотношению у них динамической и векторизационной энергий.

При этом динамическая энергия процесса $E_{\text{дин}}$ (в простейших случаях это — физическая работа) может компенсироваться его векторизационной энергией Ψ с сохранением изоморфизма, т. е. макроскопических свойств процесса.

Чем больше Ψ -потенциал процесса и отсюда степень векторизации, тем больше длина пробега и меньше их число. В результате меньше общий путь $L=Z\lambda$ и меньше динамическая энергия процесса E . Наоборот, снижение Ψ -потенциала дает обратную картину. Табл. 4 иллюстрирует эти соотношения.

При том нужно подчеркнуть важное обстоятельство, что для изоморфизма чисто броуновских процессов ($\eta=0$) достаточно единственного условия

$$V_B = \Omega_B = Z\lambda^2\pi = \text{const}, \quad (1.29)$$

или $Z = \frac{\text{const}}{\lambda^2}$, чему может отвечать сколь угодно большое множество броуновских процессов. Это значит, что все броуновские процессы с одинаковым объемом состояния *изоморфны*, и в хаотических процессах величины Z и λ в отдельности макроскопически неопределимы (некоторый аналог принципа неопределенности).

Только внесение векторности позволяет по макропараметрам определить микроструктуру процесса. Поэтому в табл. 4 чисто броуновский процесс не помещен.

Таблица 4

Изоморфные векторно-броуновские процессы

а) заданные наблюдаемые параметры изоморфных векторно-броуновских процессов:

$$L_B = 49 \text{ см}, V_{B-B} = 40 \text{ см}^2, \Omega = 120 \text{ см}^2, l = 17 \text{ см}, r = 3 \text{ см};$$

б*) внутренние параметры изоморфных векторно-броуновских процессов, отвечающие постоянным параметрам (а) при степени векторизации η

η	Z	$\lambda, \text{ см}$	$Z\lambda = E_{\text{дин}}, \text{ см}$	Ψ_B^0 (усл)
0,3	128	1,3	166	0
0,5	33	3	99	1,7
0,8	5	12	60	4,5
0,9	2	27	54	6,2

* Динамическая энергия дана в единицах полного пути $Z\lambda$. Векторизационная энергия $\Psi^0 = \epsilon^0 - \ln V_{B-B}^0$ может быть дана только в условных единицах, так как величина $\epsilon^0 = \epsilon/\epsilon_0$ неизвестна. Она определяется из условия, что при $\eta = 0,3$, $\Psi_{\text{усл}}^0 = 0$, тогда $\Psi^0 = 3,2 - \ln V_{B-B}^0$.

Таким образом, динамическая E и векторизационная Ψ энергия явлений *взаимно компенсируемы*: «изоморфным» явлениям (с одинаковым смещением, шириной и амплитудой состояния, объемами V и Ω) может отвечать самое различное распределение полной энергии явления U между динамическим и векторизационным видами. При оттоке из явления векторизационной Ψ -энергии необходим компенсирующий приток динамической энергии, для чего требуется увеличение числа пробегов Z с уменьшением самой величины пробега λ . Это ведет к броунизации явления и к сокращению его масштаба. Введение в явление Ψ -энергии, наоборот, позволяет уменьшить затрату динамической энергии и одновременно увеличить величину пробегов, уменьшив их число¹. Это ведет к повышению уровня организации явления.

Полученные соотношения естественны и относятся ко всякой целесообразной упорядоченной деятельности, новое в них — это открывающаяся возможность оценить Ψ -потенциал в единицах динамической энергии; в данной главе заниматься этим не будем. Особенно важна взаимная компенсация E и Ψ -энергий *для мышления*, так как человеческий мозг круглосуточно производит свою продукцию (взгляд на сон, как на разлитое торможение уже оставлен): в бодрствующем состоянии эта продукция целесообразно упорядочена, во сне она не находится под контролем и возникает как бы самопроизвольно. Но независимо от этого количество мыслей, образов, ассоциаций, впечатлений и т. п., продуцируемых мозгом, настолько огромно, что даже при очень малой затрате динамической (химической, электрической и т. п.) энергии на производство каждой единицы такой продукции почти вся физико-химическая энергия организма уходила бы на мыслительную работу. Человек работал бы на свой мозг. В действительности же скорее наоборот, мозг работает на сомну, стараясь, чтобы ее жизнедеятельность была возможно экономней.

Прямые калориметрические определения выделения тепла человеком в калориметре с учетом механической работы и энергии всех экскретов, впервые даны у нас В. В. Машутиным, позже в США Этуотером. Они получены на большом материале (32 опыта на 4 чел. в течение 107 дней) и дали почти точное совпадение прямого тепловыделения (3745 ккал/сутки) с энергией превращения пищевых продуктов вне организма (3748 ккал/сутки) (разница около 0,1%).

Следовательно, энергетическая ценность пищи в живом организме такая же, как и в калориметрической бомбе. Это совпадение показывает, что мышление не имеет ощутимого энергетического эквивалента. Наш мозг мыслит как-бы «бесплатно». Вместе с тем

¹ Существует простое условие подобия векторно-броуновских процессов: все процессы подобны, если они отличаются только длиной пробега λ . В этом случае их безразмерные параметры (L^0 , L_B , η , Ψ^0 , V_{B-B}^0 , Ω_{B-B}^0 , S_{B-B}^0) будут одинаковы и процессы будут отличаться только своим масштабом.

за свое поддержание *как системы* он требует очень много кислорода и, следовательно, энергии — 50 см^3 в 1 мин, т. е. $\sim 20\%$ от его потребления всем телом (при $\sim 2\%$ веса), причем во время бодрствования и сна интенсивность обмена в мозге остается одной и той же в то время как, например, у работающего сердца обмен в 100 раз больше, чем у остановленного.

Это позволяет заключить, что работа организации мысли — почти или даже целиком *векторизационная* Ψ -работа. Но этим не устраняется динамическая энергия, так как каждая минута самой жизни мозга, мыслит ли он направлено или охвачен патологическими «вихрями идей», бредом, сновидениями, «стоит» $\sim 0,3 \text{ ккал}$, в то время как для всего тела в состоянии покоя этот минутный расход составляет $\sim 1,5\text{--}2 \text{ ккал}$.

В этом смысле мозг — очень дорогой физиологический механизм, а так как время мышления пропорционально числу Z элементарных операций с длительностью τ минут каждая, то затрата динамической энергии мозга при мышлении $E = 0,3Z\tau \text{ ккал}$.

При степени векторизации $\eta = 1$ все Z импульсов используются полезно — это идеализированный случай. Но в общем случае ($\eta < 1$) для того же эффекта придется затратить больше импульсов Z/η и, следовательно, больше энергии $E_{\text{дин}} = 0,3 Z\tau/\eta \text{ ккал}$.

В этом смысле мозг может быть уподоблен автомобилю, у которого расход горючего на переезд от пункта А до Б зависит от того, сидит ли у руля шофер, знающий дорогу и точно прокладывающий трассу ($\eta \sim 1$), или руль находится в руках неопытного человека, или пьяного шофера, кружащего и петляющего в поворотах пути.

Для мозга вся мыслительная продукция вырождена энергетически и, следовательно, она вырождена логически и семантически. Поэтому нельзя считать, что она, как физиологический аппарат, является ее действительным производителем. В дальнейших главах это будет уточнено путем термодинамического анализа.

При малой векторизации (неупорядоченности) мышления расход динамической энергии на обслуживание мозга может стать столь большим, что производительное мышление станет энергетически уже непосильно организму. Поэтому повышение Ψ -потенциала и приближение η к единице — это столь важная экономия времени и энергии, что сейчас она становится одним из важнейших факторов жизненного и социального соревнования. Электронно-счетные аналоговые и другие решающие машины должны сыграть большую роль в этой временной и энергетической экономии мышления.

В I главе было рассмотрено равновесие между векторизованными и броунизированными элементами или пробегами изображающей точки в геометрическом или абстрактном пространстве. Отсюда были получены уравнения, которые привели к формулировке понятий обобщенной энтропии и свободной энергии (Ψ -потен

циала), необходимых для обобщения принципов термодинамики 3 гл. II.

По смыслу полученных соотношений под обобщенной энтропией следует понимать всякую неупорядоченность элементов *любого* явления, отвечающую условию $\eta < 1$. Как было показано, это условие создает «область неопределенности» или «объем состояния» V , которому отвечает определенная обобщенная энтропия (уравнения (22б), (22г)). Приложение Ψ -потенциала сжимает объем состояния и понижает его обобщенную энтропию. В соответствии с этим под обобщенной свободной энергией или обобщенной работой следует понимать способность *любых* операций понижать обобщенную энтропию (неопределенность или объем состояния) *любой* системы, над которой произведены эти операции, т. е. к которой приложен векторизационный, упорядочивающий потенциал (уравнение (22г)). При этом обобщенная свободная энергия системы возрастает на величину, равную обратимо затраченной обобщенной работе. Это определение обобщенной энтропии, свободной энергии и работы позволяет правомерно применять эти понятия ко всему кругу процессов, к которому применимо понятие обобщенной энтропии (неупорядоченности состояния). Под это же определение подпадает обычная термодинамическая энтропия, свободная энергия и работа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобозев Н. И. «Бюлл. МОИП», сер. биол., 53 (1), 2, 1948.
2. Зотина Р. Р. и Зотин А. И. «Успехи современной биологии», 44, вып. 3 (6), 285, 1957.
3. Бир Ст. Кибернетика и управление производством. М., «Наука», 1965.
4. Эйнштейн А., Смолуховский М. Сб. «Броуновское движение» М., ОНТИ, 1936.
5. Ognstein L. S. «Proc. Amst.» 21, 96, 1918.
6. Przigram K. «Pflugers Archiv f. Physiol.», 153, 401, 1913.
7. Перрен Ж. Атомы. М., Госиздат, 1924.
8. Furfh R. «Z. f. Physik», 2, 244, 1920.