

**Реферативный обзор семестра "Время и энтропия"
семинара "Изучение феномена времени"
(март — май 2001 года)***

А. В. Коганов

Научно-исследовательский институт системных исследований Российской Академии Наук (НИИСИ РАН); Москва, 117218, Нахимовский пр. 36, корп. 1, т.(095)-143-2370, 3324818, e-mail: koganow@niisi.msk.ru

В период марта — мая 2001 года на семинаре "Изучение феномена времени" в цикле докладов были исследованы различные подходы к введению понятия энтропии и смежных понятий сложности и информации в аспекте связи с понятием времени в точных, естественных и общественных науках. Были рассмотрены субстанциальные и комбинаторные точки зрения. Особое внимание уделено проблеме необратимости хода времени и связи этого свойства с тенденцией изменения энтропии.

1. Введение

Изучение времени как объекта науки требует особого внимания к понятиям, несущим в себе факторы необратимости. На само явление необратимости хода времени существует много точек зрения. Прежде всего, это проблема логического определения эффекта необратимости.

Если понимать обратимость времени буквально, как уход наблюдателя или объекта в прошлое и совмещение с самим собой в этом прошлом, в том состоянии, которое тогда было, то явление становится принципиально ненаблюдаемым и неизмеримым. Любая система регистрации такого ухода в прошлое перейдет в то состояние, которое у нее было в этом прошлом (возможно это — полная деструкция системы на те компоненты, из которых она позднее возникла) с последующим точным восстановлением ее состояния в настоящем, когда началась регистрация. Поэтому показания всех приборов системы в дальнейшем не будут зависеть от того, состоялся или нет откат в прошлое.

Если понимать обратимость хода времени как возможность для наблюдателя перейти в такую систему отсчета, где его собственное время будет продолжать идти вперед, включая и изменение состояний всех регистрирующих приборов, но при этом он и приборы начнут ощущать и регистрировать события прошлого, то возможны два варианта: объекты прошлого могут ощущать или нет это взаимодействие. В первом случае изменение направления времени наблюдателя изменяет состояния объектов прошлого. Это порождает проблемы с принципом причинности. Появляется возможность менять настоящее, влияя на прошлое. Исчезает однозначность факта существования физического явления. Во втором случае прошлое не чувствует движения наблюдателя против хода времени. Проблемы с причинностью при этом не возникает, но тогда требует коренного пересмотра закон сохранения энергии, который не допускает проведения измерений без энергетического взаимодействия.

Проще всего считать, что обратимость времени ни в каком виде не возможна. Так принято во всех математических моделях современной физики (в механиках), не считая первого неизмеримого варианта, который совместим с любой моделью, поскольку на процессы не влияет. Однако причины такой необратимости, как собственного свойства времени, мы сегодня убедительно указать не можем. Более того, некоторые ученые считают возможным передачу информации из будущего в прошлое. При этом такая передача регистрируется в настоящем как явление, предвещающее событие будущего, но не способное быть его причиной по энергетическим соображениям.

В этой связи очень важно изучать те свойства физического мира, которые имеют асимметрию относительно знака приращения времени, как измеряемой величины — параметра

* Обзор выполнен при поддержке Российского гуманитарного научного фонда (грант № 00-03-00360а).

уравнений. Одним из таких свойств природных процессов является *энтропия*. Для энергетически изолированных термодинамических систем эта характеристика имеет только неотрицательные приращения. В более широком классе процессов эта числовая характеристика может меняться произвольно, но без подвода энергии извне обычно выходит за конечное время на монотонный режим изменения. Изучению этого явления был посвящен семестр март — май 2001 года на семинаре "*Изучение феномена времени*", работающего с 2000 года в рамках Виртуального Института Исследований Природы Времени.

2. Основные точки зрения на энтропию

Общим для большинства докладов семестра оказался вопрос о природе энтропии: является ли она:

- 1) некоторой субстанцией, которую накапливают или отдают процессы, или
- 2) комбинаторным свойством, характеризующим вариативность состояния процесса, или
- 3) числовой характеристикой математической модели процесса, или
- 4) накоплением / потерей измеряемой информации о процессе.

Сторонники физической субстанциальной природы энтропии выдвигают гипотезы о возможных материальных носителях этой характеристики. Математические формулы, определяющие эту величину, рассматриваются как упрощенные модели некоторого природного процесса, который должен иметь независимые способы прямого измерения. Эти методы измерений пока не найдены в силу технических препятствий.

Сторонники объективной комбинаторной теории подразумевают объективный статус понятия "микросостояние физической системы". Энтропия процесса рассматривается как мера множества микросостояний, неразличимых при данном значении макроскопических измерений процесса, образующих в совокупности его макросостояние. Состояния математических моделей при этом подходе рассматриваются как огрубленное описание истинных состояний. При этом признается принципиальная неизмеримость абсолютного состояния, но оно считается объективно существующим. Эта концепция по сути является чисто философской и не подразумевает в дальнейшем объективных измерений истинной энтропии в реальных процессах.

Сторонники математической природы понятия энтропии исходят из того, что это характеристика пары, состоящей из реального процесса и его математической модели. По реальному процессу модель идентифицируется путем выбора таких значений теоретических параметров, которые дают совпадение вычисляемых характеристик с некоторым набором измерений. После этого энтропия рассчитывается по состояниям модели с учетом модельной, а не реальной, динамики. Тогда, энтропия описывает процесс только по отношению к некоторому его математическому описанию. Энтропии самого процесса не существует, подобно тому, как не существует объективного логарифма числа, если не указано основание логарифмирования. Само состояние процесса тоже определяется по идентифицированной модели и не имеет абсолютного смысла. Измерения работают только на стадии идентификации модели. Вероятностные математические меры на множестве состояний имеют вторичную статистическую идентификацию или носят чисто гипотетический характер.

Анализ этих подходов на семинаре показал, что разные наборы измерений, примененных к процессу, или разные гипотезы, положенные в основу математических моделей, существенно влияют на числовое значение энтропии и на тенденцию ее изменения после идентификации. В ходе обсуждения докладов ни одна из точек зрения не получила решающего преимущества.

Причины роста энтропии в изолированных процессах также имеют несколько трактовок. Сторонники субстанциального подхода видят в нем указание на накопление "энтропийной субстанции" в физическом носителе процесса. Имеются попытки отождествить эту субстанцию с материальным носителем времени в Природе. В объективно-комбинаторном подходе к энтропии ее рост связывается с нарушением в природе детерминизма, что увеличивает вариативность состояния процессов во времени. В математическом подходе факт роста энтропии не является обязательным для моделей. Часто он связывается с накоплением информации о траектории состояния модели во времени или с постепенным повышением однородности состояния относительно некоторой группы преобразований. Последняя трактовка легла в основу представления об энтропии, как о мере хаотичности состояния процесса.

Вопросы роста энтропии тесно связаны с вопросами передачи энергии и информации. В неизолированных системах монотонность изменения энтропии уже не наблюдается. Даже в изолированных но существенно не стационарных системах может не быть роста энтропии, по крайней мере при математическом подходе к этому понятию. Примером может служить газ, расширяющийся в неограниченном вакууме. По мере разлета частиц соударения становятся все менее вероятными и температура падает до абсолютного нуля, а тепловая энергия переходит в кинетическую энергию свободного полета частиц газа. Энтропия состояния при этом падает до нуля за конечное время.

Взаимодействие и нестационарность непосредственно связаны с передачей и преобразованием энергии. Возникает возможность говорить о передаче информации. Многие доклады касались определения и трактовки этого понятия. При субстанциальном подходе предполагается изучение и поглощение особых частиц носителей информации и взаимодействий. Эти же частицы ответственны за рост энтропии в изолированных системах, обеспечивая передачу внутренних взаимодействий. При комбинаторном и модельном подходе к энтропии мерой информации служат возникающие изменения в наблюдаемом процессе или в его идентифицированной модели.

Большинство авторов сходятся на том, что измерение информации величиной уменьшения энтропии годится только в узком классе задач, где содержательная информация сводится к уменьшению числа возможных альтернатив. В общем случае требуется разработка более гибкого подхода. Например, надо уметь измерять информацию, меняющую структуру объекта или модели, когда неизвестно или не имеет смысла полное множество возможных альтернатив. Возникла также дискуссия о возможности считать информационным любой акт энергетического взаимодействия между физическими объектами. Предполагает ли информация целенаправленную деятельность того, кто ее принимает и можно ли говорить об информации без определения процесса интерпретации сообщения?

В целом, работа семинара по вопросу об энтропии и информации позволила определить и уточнить имеющиеся точки зрения на эти понятия, выяснить степень обоснованности каждого подхода и возникающие при этом трудности. Ни одна точка зрения не была вполне отвергнута или принята за безусловную истину. Стало ясно, что имеется несколько различных понятий энтропии и информации, не полностью аналогичных. Каждое из них требует своей теоретической разработки.

Ниже предлагаются рефераты докладов по теме семестра. Эти рефераты учитывают те замечания и поправки, которые вносились по ходу обсуждения и комментариев. В ряде случаев исправлены неточности в формулах или в их трактовках. Рефераты даны с заголовками, указанными в программе семинара, и под именем основного докладчика, без указания участников обсуждения. Они расположены в порядке хронологии работы семинара.

3. Основные этапы формирования понятия энтропии

(По вводу докладу А. П. Левича)

1865 г. Рудольф Юлиус Клаузиус.

В рамках теории тепловых машин введено представление о энтропии, как о термодинамической величине. Энтропия S задана динамическим уравнением через скорость изменения тепловой энергии Q и абсолютную температуру T .

$$d_i S = d_i Q / T$$

1872 г. Людвиг Больцман.

Энтропия вводится как мера множества W микросостояний термодинамической системы с помощью специальной константы $K = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Дж/гр.К.

$$H = K \log |W|$$

1902 г. Джозойя Виллард Гиббс.

Энтропия вводится через распределение плотности $\rho(x)$ вероятности состояний по фазовому пространству W статфизической системы.

$$H = \int_W \rho(x) \log \rho(x) dx$$

1948 г. Клод Шеннон.

Вводится мера энтропии дискретного распределения вероятности P_i на множестве альтернативных состояний и информация, как уменьшение энтропии при получении сообщения.

$$H = -\sum_{i=1}^N P_i \log P_i ; \\ I = H_1 - H_2 ;$$

1953 г. Александр Яковлевич Хинчин.

Постоянная Больцмана вводится как математическая нормировка основания логарифмов, независимо от термодинамической интерпретации.

$$S = -K \sum_{i=1}^N P_i \ln P_i$$

1955 г. Артур Роберт Мак.

Комбинаторная интерпретация энтропии, как меры структурированного множества альтернатив: $n = n_1 + \dots + n_m$

$$S = -K \sum_{i=1}^m (n_i/n) \ln(n_i/n)$$

1965 г. Андрей Николаевич Колмогоров.

Обобщение понятия энтропии на эргодические случайные процессы $u(t)$ через предельное распределение вероятности, имеющие плотность $f(x)$.

$$S = -\int_W f(x) \log f(x) dx; f(x) = \lim_{t \rightarrow \infty} \text{Prob}\{u(t)=x\}.$$

Введение энтропии, как инварианта динамической системы с оператором J , имеющим инвариантную вероятностную меру на множестве состояний W , полученного предельным переходом по средним комбинаторным энтропиям следа $D(t)$ начального измеримого бинарного разбиения D на W (скорость генерации информации динамической системой)

$$H = \text{Sup}_{D=\{A, W \setminus A\}} \lim_{t \rightarrow \infty} (-1/t) \sum_{v \in D(t)} P(v) \ln P(v); D(t) = \prod_{i=1}^t J^i * D;$$

Произведение берется в алгебре разбиений на W , как все возможные пересечения элементов сомножителей.

Введение меры сложности символьной последовательности $y = (y_1, y_2, \dots)$, как минимальной удельной (на символ) длины программы P , ее порождающей на универсальной машине Тьюринга.

$$C(y) = \lim_{n \rightarrow \infty} (1/n) \min \text{long } P(y_1, \dots, y_n) .$$

1970 г. Анри Реньи.

Введение энтропии как β -момента меры разбиения.

$$S = (1 - \beta)^{-1} \ln(\sum_{i=1}^N (n_i)^\beta);$$

1999 г. Александр Моисеевич Хазен.

Введение понятия энтропии- информации как обобщенного действия в механике с функцией энергии L на фазовом пространстве W . Постоянная Больцмана зависит от уровня процесса. Это — обобщение подхода Р. Ю. Клаузиуса.

$$S = K \int_{[0; t]} L(W(t)) dt .$$

2000 г. Александр Владимирович Коганов.

Введение меры сложности C математической модели A , как набора чисел, характеризующих ресурсы R_i , потребляемые при реализации математической модели на технических средствах. В случае, если ресурсом является память вычислительных средств, получаем варианты формул энтропии А. Р. Мака и сложности А. Н. Колмогорова.

$$C=(R_1, \dots, R_M); R=R(A).$$

Энтропия вводится, как сложность множества состояний модели.

$$S=(R_1, \dots, R_M); R=R(\text{state } A).$$

Информация измеряется сложностью перестройки модели, как следствия полученного сообщения.

$$I=(R_1, \dots, R_M); R=R(A/A').$$

4. Рефераты докладов

4.1. Реферат доклада А. В. Коганова "Многокомпонентная мера сложности, информации и энтропии для математических моделей" (06.03.01г.)

Традиционные определения энтропии, информации и сложности создают ряд трудностей, в применении к математическому моделированию в прикладной математике. Например, возможно получение отрицательной или нулевой меры информации сообщения, расширяющего множество возможных альтернатив поведения модели. Между тем — это самые ценные сообщения. Кроме того, количество альтернатив не учитывает структуры математической модели, влияющей на формат их записи. Понятие сложности содержательно может быть связано не только с длиной программы, но и потреблением таких ресурсов, как объем памяти человека, стоимость получения исходных данных, ограничения по времени вычислительного процесса, энергозатраты и стоимость необходимого оборудования, и т. п. Например, не учитывая ресурс реакции человека, не возможно оценить эффект от введения удобного интерфейса. Ограничив область применимости определений конечными математическими моделями, можно непосредственно из такого подхода получить явные формулы для учета некоторых ресурсов. Учет других ресурсов может потребовать экспериментальной работы.

Предлагаемая мера сложности представлена кортежем чисел, каждое из которых выражает потребление одного из видов ресурсов. Одна математическая модель может иметь много мер сложности в зависимости от способа и условий использования. Разные меры можно объединять в одну, соединяя кортежи.

Пример кортежа сложности программного обеспечения.

- 1) Длина исходного текста программы.
- 2) Объем памяти структуры программы после трансляции.
- 3) Объем исходных данных.
- 4) Объем памяти для расчетов.
- 5) Длина одного элемента данных.
- 6) Ограничение времени счета (обратная величина).
- 7) Ограничение на время обработки внешнего пребывания (обратная величина)
- 8) Число операций на один цикл вычислений.
- 9) Объем инструкции к программе.
- 10) Количество тестов к программе.

Введем функцию информационного логарифма, вычисляющую длину минимального кода для x альтернатив:

$$ilg(x)=1(\text{for } x=1) / \lceil \log(x) \rceil (\text{for } x>1) / 0 (\text{for } x<1);$$

Для моделирования процессов удобно использовать язык индукторных пространств, в которых определяется топология пространства-времени процесса указанием для каждой точки одно или нескольких множеств точек, от которых зависит значение процесса в ней (индукторов). Обозначим $I(t)$ — множество индукторов точки t . Объем адресной памяти, необходимой для хранения конечного индукторного пространства T , определяется по формуле

$$C = \text{ilg}(|T|) \sum_{t \in T} \sum_{v \in I(t)} |v| \text{ilg}(|v|).$$

В частных случаях эта формула превращается в формулу структурной энтропии А. Р. Мака, переписанную в комбинаторной форме

$$C/\text{ilg}(|T|) = (\ln(n) - nS)/K = \sum_{i=1}^m n_i \ln(n_i).$$

Содержательным будем считать такие сообщения, которые требуют изменения используемых моделей. В качестве меры сложности сообщения используем кортеж ресурсов, потребляемых при таком изменении. Например, для перестройки индукторного пространства, состоящей в отбрасывании N имеющихся точек и $K(t)$ индукторов из каждого $I(t)$, добавлении M новых точек и введении набора $P(t)$ новых индукторов в каждое $I(t)$, требуется задействовать двухкомпонентную память, объема

$$C = \{ \text{ilg}(|T|)(N + \sum_{t \in T} K(t) \text{ilg}(K(t))); \\ M \text{ilg}(M) + \text{ilg}(|T| - N + M) \sum_{t \in T} \sum_{v \in P(t)} |v| \text{ilg}(|v|) \}.$$

При любом изменении модели обе компоненты неотрицательны и хотя бы одна — положительна.

Аналогично могут быть выписаны формулы сложности записи состояния модели относительно заданной структуры памяти. В простых частных случаях они превращаются в формулы энтропии по К. Шеннону. Но в общем случае они несут гораздо больше сведений о модели и лучше согласуются с интуитивным представлением о сложности и содержательности информации. Например, исследования, проведенные под руководством А. Н. Колмогорова, показали, что по формулам К. Шеннона удельная информация, содержащаяся в научных текстах, значительно ниже, чем в художественных. Это связано со строгостью терминологии, ограничивающей словарь ученого, и с большим количеством коротких ссылок на большие тексты, без которых данный текст не может быть вполне понят. Использование ресурсной меры сложности, учитывающей структуру ссылок и вложенность определений, меняет соотношение оценок сложности в сторону перевеса науки, что вполне согласуется с интуицией.

Литература.

1. А. В. Коганов. Векторные меры сложности, энтропии, информации. Математика. Компьютер. Образование. Вып. 7., ч.2, М., Прогресс-Традиция. 2000, СС 540-546.

2. http://5.vertebra.bio.msu.ru/REPORTS/Koganov_tezisy.gz.ps

3. А. В. Коганов. Индукторные пространства, как средство моделирования. "Вопросы кибернетики" (Алгебра, Гипергеометрия, Вероятность, Моделирование) под ред. В. Б. Бетелина, РАН, М., 1999г, СС 119-181.

Данные об авторе. Коганов Александр Владимирович; e-mail: koganow@niisi.msk.ru

4.2. Реферат доклада А. П. Левича "Энтропия как мера структурированности систем и энтропийная параметризация времени" (13.03.01г.)

Энтропия — это мера структурированности системы, и она же играет роль параметризации времени для природных процессов. В многих случаях ее можно рассматривать как референта времени. Многие авторы указывали на энтропийную "стрелу времени", усматривая в тенденции изменения энтропии причину необратимости хода времени.

Рост энтропии, как физического свойства процессов, можно предположительно объяснить фактической открытостью природных систем, находящихся в постоянном взаимодействии друг с другом, хотя не всегда эти взаимодействия входят в модель процесса. Поток внешних событий приводит к возрастанию числа микросостояний процесса.

Принцип максимума энтропии можно сформулировать так. При отсутствии внешних воздействий, когда множество микросостояний зафиксировано, система переходит в такое макросостояние, при котором энтропия микросостояний наибольшая. Математически это означает выход на наибольшую однородность распределения вероятностей микросостояний, при фиксированной системе ограничений (физических связей).

Принцип И. Ньютона гласит: вместо самого времени мы измеряем некоторый монотонный процесс — референт времени.

Можно предложить модель измерения энтропии на основе математической теории конечных категорий. Такую категорию определяют как совокупность конечных множеств, имеющих одинаковую структуру выделенных подмножеств с точностью до морфизма. Морфизм — это однозначное отображение одного множества в другое, при котором выделенные подмножества прообраза переходят в выделенные подмножества образа, и сохраняется структура выделенных подмножеств по вложению. Следующий пример двух объектов разных конечных категорий показывает возможность существования биекции при отсутствии морфизма.

Категория 1. $\{\{A;B;C\};\{D\}\}$.

Категория 2. $\{\{A;B\};\{C;D\}\}$.

Интересно, что в качестве объектов категорий можно брать множества не вполне формализованных элементов, поскольку конечные множества можно определять физическим предъявлением их элементов и подмножеств. Это позволяет применять излагаемую теорию для анализа биологических или социальных систем. Например, организм животного структурирован по органам, и здоровые животные одного вида относятся к одной конечной категории. Социумы структурированы на социальные и производственные институты. Государства одной стадии развития можно отнести к одной категории.

Функтор — это математическое понятие, означающее отображение категорий друг в друга, при котором морфизм переходит в морфизм. Для конечных категорий имеется функтор в категорию конечных множеств. При этом сама категория отображается на множество своих морфизмов, а объект отображается в свой тождественный морфизм.

Возможен подход к определению энтропии природных систем через число различных морфизмов в той категории, куда мы относим эту систему. Если

$$X=\{X_1; \dots; X_M\} \text{ и } A=\{A_1; \dots; A_N\}; / A_i \neq n_i; t:A \rightarrow X;$$

$$[X]= X_1 \cup \dots \cup X_M; [A]= A_1 \cup \dots \cup A_N;$$

— два структурированных множества и отображение t структуры одного на структуру другого, то число возможных отображений - морфизмов $[A]$ на $[X]$, согласованных с t равно

$$I(A>X/t)=\prod_{i=1}^N (n_{i(i)})^{n_i}$$

Энтропию структуры A относительно структуры X при условии отображения классов t определим формулой:

$$H(A>X/t)=\log I(A>X/t)=M(-\sum_{i=1}^N (n_i/M)\log(n_i/M));$$

Эта формула совпадает с формулой Больцмана для неструктурированных множеств.

Если определить модель изменения числа микросостояний и структуры их подмножеств для некоторой физической системы, то можно отслеживать динамику изменения энтропии. Например, если число структурных подмножеств не меняется, но растет число микросостояний в некоторых из них, то энтропия монотонно растет.

Литература.

1. А. П. Левич. Теория множеств, язык теории категорий и их применение в теоретической биологии. М., МГУ, 1982.

2. А. П. Левич. Время как изменчивость естественных систем: способы количественного описания изменений и порождение изменений субстанциональными потоками. // Конструкции времени в естествознании: на пути к пониманию феномена времени. М., МГУ, 1996, сс 235-288.

3. A. P. Levich. Variational modeling theorems and algocoenoses functioning principles// Ecological modeling. 2000, V. 131, No 2-3, pp. 207-227.

4. А. П. Левич. Энтропия как обобщение понятия количества элементов для конечных множеств. // Философские исследования. 2001. №1. С. 59-72.

5. <http://www.chronos.msu.ru/lab-kaf/Levich/levich.html>

Данные об авторе. Левич Александр Петрович; e-mail: levich@chronos.msu.ru

4.3. Реферат доклада С. Д. Хайтуна "Энтропия и эволюция" (20.03.01г.)

Энтропию не следует рассматривать как математическую характеристику естественных процессов. Эта точка зрения не достаточно обоснована в современной науке и приводит к ряду трудностей с интерпретацией этого понятия. Математическая интерпретация энтропии как меры хаоса приводит к ложной концепции тепловой смерти Вселенной.

В то же время термодинамические процессы, протекающие в больших масштабах, порождают неоднородности и флуктуации, способные переводить часть тепловой энергии в механическую и другие виды не энтропийной энергии. Примерами являются ветер или морские течения, возникновение звездных систем из туманностей. Фактически, рост энтропии может сопровождаться и возникновением упорядоченных структур.

Энтропию следует рассматривать как природное свойство всех процессов во времени. Возрастание энтропии — это ее естественное свойство как природного явления. Только искусственные меры могут приводить к снижению энтропии. К ним следует прибегать в тех случаях, когда рост энтропии ухудшает экологические условия в местах жизни людей. Это прежде всего перевод энергии из тепловой в другие формы.

Но сам по себе рост энтропии естественен и является целью биологической и социальной эволюции. Биосистемы и социумы выбирают из всех путей развития те, которые обеспечивают наиболее быстрый рост энтропии окружающей среды. Причиной и целью возникновения жизни, а потом и разума, был недостаточно быстрый рост энтропии в природе. Усложнение живых форм позволило осуществлять сложные программы, вначале временно замедляющие рост энтропии, но потом вызывающие ее сверхбыстрый рост. Это достигается созданием специальных условий и технических средств в низкоэнтропийный период деятельности. Этот эффект объясняет природу войн и техногенных катастроф уже на разумной стадии эволюции.

Измерение энтропии связано с учетом возможных вариантов протекания процессов. Более энтропийные пути развития связаны с большей потенциальной вариативностью. Например в модели Больцмана для распределения N частиц по M местам число вариантов W и энтропия S соответственно равны

$$W=M!/(N!(M-N)!); S=K \ln(W).$$

В пустом пространстве газ расширяется, увеличивая количество возможных мест. Это влечет рост энтропии. Но при наличии связей быстрый рост энтропии требует более сложного поведения.

В термодинамических системах для энтропии действует формула Гиббса относительно плотности вероятности микросостояний. При выравнивании плотностей на фазовом пространстве энтропия всей системы и в каждом микрообъеме растет. Но при наличии взаимодействий частиц рост энтропии уже не означает выравнивания вероятностей: частицы собираются в потенциальные ямы. Достигается условный рост энтропии до локального максимума. Именно ради преодоления этих ограничений эволюция идет в сторону усложнения.

Литература.

1. С. Д. Хайтун. Механика и необратимость. М. Янус. 1996.

2. С. Д. Хайтун. Мои идеи. М. Агар. 1998.

3. С. Д. Хайтун. Социальная эволюция, энтропия и рынок. \ \ Общественные науки и современность. 2000. №6.

4. С. Д. Хайтун. Фундаментальная сущность эволюции. // Вопросы философии. 2001. №2.

4.4. Реферат доклада А. Б. Рубина "Динамическая организация живых систем" (27.03.01г.)

Организация живых систем имеет динамический характер. При этом определить кинематические законы формирования биологических систем или поведенческих реакций можно только вблизи точек равновесного состояния, когда система своей динамикой гасит сравнительно малые возмущения. При больших отклонениях от равновесия система переходит к поисковым реакциям, имеющим вид странных аттракторов: они позволяют за короткое время перебрать много состояний, имеющих различную динамику развития и выбрать то, на которое среда реагирует наиболее благоприятно. Фактически возникает бифуркация, позволяющая оптимальным образом изменить поведение.

Реакции биосистем подчинены различным ритмам с характерными периодами. Имеется иерархия характерных времен протекания биологических процессов: от миллисекунд на уровне химических актов макромолекул до часов, суток и даже годов на макроуровне организма. Темп любого биологического процесса определяется "узким местом" — самым медленным ритмом, участвующем в нем и причинно влияющим на другие компоненты.

Характерные времена в листе растения различаются на 12 порядков. Фотосинтез — 10^{12} с и рост листа — около 10 дней.

Пока медленный процесс идет по своему циклу, быстрые процессы крутятся по своим предельным аттракторам много раз и, фактически, выходят на стационарные режимы. Они успевают полностью погасить все возмущения, задолго до момента, когда медленный процесс решит свою задачу. Таким образом, тенденция поведения задается медленными ритмами. Например, когда организм испытывает голод, некоторые клетки начинают копить ферменты, нужные для переваривания пищи. Они работают в стационарном режиме, но только пока не завершится медленный процесс получения пищи. Во время еды и после они меняют свою функцию, быстро переходя в другой стационарный режим.

В теории Пригожина вблизи точки равновесия система минимизирует производство энтропии, переходя к детерминированному движению. Это порождает неустойчивость и нелинейность реакции на сильные возмущения. Неживую систему стабилизирует медленно изменяющаяся внешняя среда, заставляя находить устойчивое состояние. Но биологические системы могут сами себя стабилизировать за счет обратных связей. Роль стабильной среды играют медленные биоритмы.

В математических моделях даже при детерминированном описании есть переход к хаосу, если система усиливает слабые возмущения. Это исключает повторяемость состояний в достаточно сложных системах. Известна модель Пуанкаре, заданная системой дифференциальных уравнений

$$x'=x-y; \quad y'=2x-y-xz; \quad z'=xy-z;$$

В проекции на плоскость XU получается странный аттрактор, проходящий вблизи всех точек области значений процесса. Такие же эффекты наблюдаются при прогнозировании погоды или в моделях хищник — жертва. Переход к хаосу происходит через процесс удвоения периода. Он заключается в том, что собственный период системы накладывается на более медленный процесс. Когда медленный период становится вдвое больше собственного, возникает новое периодическое поведение процесса. Таким образом, поисковые реакции предполагают медленные ритмы.

Колесания подвижных частей белков напоминают осмысленные движения. Но они содержат и почти неподвижные фрагменты, как скелет и мышцы. Запуск движения макромолекулы лавинообразный. С помощью целенаправленных движений, например, гемоглобин отдает атом кислорода другой молекуле. Молекула АТФ имеет подвижную группу атомов, работающую как винты в жидкости. Устойчивость конфигурации обеспечивается энергетической ямой потенциала связи атомов. 20 аминокислот могут породить не менее 10^{20} различных белковых цепей. Но реально белков на несколько порядков меньше. Явно имеется селекция вариантов.

Как процесс синтеза молекулы в хаотичной среде приводит к целенаправленным актам? Для жизни характерен энтропийный принцип магазина. Товары выставлены хаотично, но покупатель сам отбирает нужное. Самосборка молекул основана на отлове нужных атомов в полном беспорядке. При этом процесс синтеза — медленный, а захват атома — быстрый.

Медленные процессы фактически задают цель действий биосистемы, а быстрые процессы реализуют эту цель. Условия, которые создают медленные процессы для протекания быстрых, можно рассматривать как информацию о текущей решаемой задаче. Эта информация снижает энтропию на время достижения цели. Временный переход в неустойчивое макросостояние, имеющее странный аттрактор на микросостояниях, фактически является фазой выбора новой цели. Это похоже на переход к оглавлению всей книги после прочтения одного из разделов для выбора нового раздела. Это увеличение энтропии состояния с целью повышения эффективности поиска.

Литература.

1. А. Б. Рубин. Биофизика. Том 1. (1999); Том 2. (2000). М. Книжный дом "Университет".

Данные об авторе. Рубин Андрей Борисович; e-mail: rubin@biophys.msu.ru

4.5. Реферат доклада В. В. Аристова "Понятие энтропии в реляционной статистической модели времени" (03.04.01г.)

Представление о монотонном росте энтропии в энергетически изолированных статистических ансамблях не всегда соответствует действительности. Автором доклада математически доказано, что для системы частиц, движущихся вдоль некоторой оси и претерпевающих упругие соударения друг с другом уравнение Больцмана дает спад энтропии ансамбля вдоль оси движения x . При этом температура T вдоль оси зависит от плотности потока $q(x)$ по формуле

$$dT/dx = q(x)/\lambda(v),$$

v — средняя скорость в ансамбле, $\lambda(v)$ — константа вдоль всей оси x .

Это означает, что связь тенденции изменения энтропии с энергетической изоляцией системы частиц сложнее, чем считалось.

Предлагается модель физического измерения времени через наблюдение за перемещением частиц в некотором ансамбле. Тип взаимодействия частиц мало влияет на модель, хотя может изменять числовую меру времени при реальном измерении. Постулируется, что физическое время содержит в себе некоторый линейный порядок точек — моментов. Но числовую меру, то есть монотонное отображение этого порядка на числовую ось, вносит измерительный прибор — часы. Каждый прибор имеет определенную чувствительность к изменению времени и воспринимает движение физических тел, как дискретную смену состояний. Время измеряется с помощью ансамбля частиц $P_i, i=1, \dots, N$. За один такт смены состояний частица перемещается в пространстве на расстояние dR_i . Мера такта времени dt в модели и общее прошедшее время $T(K)$ за K тактов определяется формулами

$$dt^2 = (a^2/N) \sum_{i=1}^N (dR_i - V)^2; \quad V = \sum_{i=1}^N dR_i / N;$$

$$T(K) = \sum_{j=1}^K dt(j)$$

Коэффициент a задает масштаб шкалы времени по отношению к пространственным перемещениям. Если использовать два типа таких часов, причем у часов 1 шаг времени равен целому числу M тактов часов 2, то зная перемещения $dR[1]$ можно указать только соответствующее множество возможных M -тактовых траекторий $dR[2](1_M)$,

$$dR[1] = dR[2](1) + \dots + dR[2](M).$$

Именно неопределенность этой траектории воспринимается как энтропия: при ее измерении мы создаем макроскопическое огрубление шага времени по отношению ко времени

единичного акта взаимодействия частиц ансамбля. Можно сказать, что энтропия — это мера забывания промежуточных состояний ансамбля. По неравенству треугольника можно утверждать, что округление часов приводит к уменьшению численной меры времени:

$$T[1] \leq T[2](M).$$

В качестве условной меры энтропии предлагается величина, которая не измерима в силу отсутствия данных о $T[2]$:

$$dS = \ln (T[2](M))^2 - \ln(T[1])^2 = 2\ln(T[2](M)/T[1]).$$

Если ввести вероятностную меру плотности f на множестве W возможных $T[2]$, то можно дать другое определение энтропии, используя определение Дж. Гиббса

$$H = \int_W f(T[2]) \log (f(T[2])) dT[2];$$

Этот подход позволяет получить кинематику Галилея и механику Ньютона. Если масса частиц m , то кинетическая энергия ансамбля (относительно данных измерений времени) и ее производная по времени вычисляется по формулам

$$E = (m/2) \sum_{i=1}^N (T[2](M)/T[1])^2 = (m/2) \exp\{dS\};$$

$$E' = (m/2) \exp\{dS\} (dS)' = E(dS)' ;$$

Необратимость времени в макропроцессах связана с потерей информации о траекториях на микроуровне. Поэтому нет возможности вернуть прежнее микросостояние. Таким образом, необратимость времени связана с наличием положительного прироста энтропии.

Литература.

1. <http://www.chronos.msu.ru/lab-kaf/Aristov/aristov.html>

Данные об авторе. Аристов Владимир Владимирович; e-mail: aristov@ccas.ru

4.6. Реферат доклада Ю. А. Ершова "Энергетика и кинематика информационных взаимодействий" (10.04.01г.)

Конструкцию любой реальной системы можно описать математической структурой, показывающей части этой системы в порядке структурной подчиненности (SS-структуры). Математически, это — граф типа дерева. Состояние системы описывается набором состояний ее частей.

Примером могут служить биологические организмы, где хорошо прослеживаются уровни иерархии: организм — органы — функциональные элементы — клетки — субклеточные структуры — макромолекулы — аминокислоты — атомы. Аналогично можно представить социальные, технические, астрофизические и др. системы.

(В то же время такие иерархии не описывают внутренних взаимодействий по горизонтальным уровням структуры. Не всякое расчленение системы может считаться ее структурой. Необходимо, чтобы части выделялись взаимодействиями, действующими в нерасчлененной системе. Например, если разбить чашку, то осколки не образуют структурных единиц целой чашки.)

На каждом уровне иерархии имеется своя характерная энергетическая интенсивность взаимодействия элементов уровня (частей системы, расположенных на этом уровне). Как правило, эта удельная интенсивность, отнесенная к характерной внутренней энергии элемента выше для нижних уровней.

Определение меры сложности системного описания.

1) Сложность определена только для описаний системы в форме конечной иерархической структуры.

2) Сложность структуры равна числу вершин графа, ее представляющего.

3) Информация структурного описания равна длине оптимальной текстовой кодировки графа структуры.

Если U — множество уровней SS-структуры, число вершин уровня i равно $f(i)$, то информация и сложность соответственно равны

$$I = \sum_{i \in U} f(i) \log(f(i)),$$

$$C = \sum_{i \in U} f(i).$$

Для передачи информации иногда приходится огрублять структуру объекта, передавая только верхние уровни иерархии (устранение подробностей) или подструктуру подчиненного уровня (описание части системы). В этом случае мера информации уменьшается. Но иногда приходится усложнять структуру объекта, вводя новые подразделения для передачи всей структуры по частям. Примером может служить передача монохромного прямоугольника в телесигнале путем разбиения его на пиксели. В этом случае мера информации возрастает, но уменьшается сложность передаваемого элемента.

Изменения, происходящие в системе, измеряются изменением сложности или информации ее структуры.

$$\Delta I = \sum_{i \in U'} f'(i) \log(f'(i)) - \sum_{i \in U} f(i) \log(f(i));$$

$$\Delta C = \sum_{i \in U'} f'(i) - \sum_{i \in U} f(i).$$

В предложенном формализме все изменения образуют дискретный ряд.

Любая система входит как подсистема в свое взаимодействие с внешней средой. Из среды она отбирает то, на что она настроена. Поэтому интенсивность взаимодействия определяется структурой приемника. Фактически, информация, это эффект от приема сигнала, в результате которого приемник формирует новую структуру в себе или в окружающей его среде. Числовое значение информации измеряет полученный эффект.

Этот эффект не определяется затраченной при передаче энергией. Поэтому содержательная информация не может иметь термодинамическое определение. Определение К. Шеннона дает меру переданной информации, пропорциональную физическому действию передатчика при квантовой системе связи или затраченной энергии при амплитудной системе связи. Эта мера не отражает содержательного эффекта от приема сигнала.

Литература.

1) Ю. А. Ершов. Журнал физической химии. 1999, том 73, №10, сс 1817-1823.

Данные об авторе. Ершов Юрий Алексеевич; e-mail: nso3145@mail.sitek.net

(Материал доклада существенно переработан по содержанию обсуждения на семинаре. Устранены математические и логические противоречия в определениях и формулах. — А.К.)

4.7. Реферат доклада В. П. Майкова "Квант энтропии и природа времени в нелокальной термодинамике" (24.04.01г.)

Термодинамика основана на идее равновесного состояния взаимодействия частиц в фиксированном объеме. Новые эффекты возникают при соединении уравнений термодинамики, квантовой механики и общей теории относительности. Принцип неопределенности и уравнение Больцмана дают систему для расчета минимальных макроскопических пространственных r и временных t интервалов и объемов v , в которых может установиться равновесие.

$$\Delta E \Delta t = h/2; \Delta E = KT; \Rightarrow \Delta t = h/2KT; r = C \Delta t = Ch/2KT;$$

$$v = (4/3) \pi r^3 = (\pi/6) (Ch/KT)^3;$$

Для $T = 300^\circ K$ $r = 4 \cdot 10^{-6} m$, что близко к размеру живой клетки. Уравнение термодинамического равновесия через давление P , объем v и энтальпию H дает соотношение для характерной флуктуации давления через энтропию S . Это результат взаимодействия макрообъема с внешним пространством.

$$v = \partial H / \partial P \Rightarrow \Delta P = KT/v ; P = P(S);$$

Число частиц N в макроячейке при $T=300^\circ K$ около 10^4 . С ростом температуры объем макроячейки и число частиц в ней уменьшаются. При температуре, когда в ячейке нет внутренних частиц ($N < 1$), возникает горячий вакуум. При малых N возникают флуктуации температуры. При $\Delta T > T$ температура становится ненаблюдаемой. Это относится и к другим параметрам, которые флуктуируют вместе с температурой. Деформации ячеек Δr рожают заряды (электрический q , слабого взаимодействия g), электромагнитные поля и спины (кручения).

$$\Delta T \approx \alpha T / N^{1/2}; \quad \Delta r = \Delta T / |\partial_{Tr}| = Ch \Delta T / 2KT^2 ;$$

$$q = (\epsilon \pi Ch)^{1/2} ; \quad g = eq;$$

ϵ — заряд электрона, e — основание натуральных логарифмов. Квант заряда не зависит от температуры. Гравитационная плотность ρ и заряд q^\wedge получаются из формулы Гаусса для гравитационной напряженности g^\wedge и гравитационной постоянной G :

$$\text{div } g^\wedge = 4\pi G \rho ; \Rightarrow |\rho| = (KT)^2 / \pi Gh ; \quad |q^\wedge| = C^3 h / 6KKTG ;$$

$$g^\wedge q^\wedge = m \omega^2 r ; \Rightarrow \Delta q^\wedge = m = \Delta T (\partial |q^\wedge| / \partial T);$$

$$(\partial S / \partial T) \Delta T - (\partial S / \partial m) \Delta m = 0 ;$$

При $\Delta q^\wedge > 0$ это наблюдаемая масса m . Скрытая масса при $\Delta q^\wedge < 0$ — это флуктуация интервала макроячейки $S^2 = C^2 \Delta t^2 - r^2$ — минимальный макроинтервал СТО. Флуктуации массы являются фермионами гравитино. Флуктуации температуры в классической механике полностью компенсируются. В ОТО за счет рождения гравитино происходит не полное восстановление. В результате теряется тепловая энергия макроячейки (инфляция). $\Delta T' / \Delta T \approx 10^{-27}$ т. е. 10^{-8} грК за 1000 лет. При малых Δt и больших Δr в ячейке возможны взаимодействия обгоняющие свет. Проблема сингулярности снимается, так как в зоне больших температур все параметры не наблюдаемы. Получается оценка времени жизни протона около 10^{37} лет (гибнет один протон в кубокилометре воды за 47 лет). Испарение черных дыр можно объяснить резким снижением температуры на их поверхности и ростом макроячеек. Сопутствующие взрывы могут явиться причиной наблюдаемых гамма-всплесков в космосе. Число энергетических уровней в макроячейке $T / \Delta T = S / K$.

Число макроячеек во Вселенной можно оценить, исходя из температуры реликтового излучения. Для сегодняшней — 2,91 грК — получаем 10^{90} ячеек. Большинство из них пусты, так как частиц — всего порядка 10^{30} .

В уравнениях Эйнштейна имеется Λ - член определяющий силу, действующую на массу в пустоте. Если R — кривизна, g — метрический тензор (гравитационный потенциал) то

$$R_{\mu\nu} - (1/2) R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu} / C^4 - \Lambda g_{\mu\nu}$$

Гравитационный заряд принято считать совокупной флуктуацией всех полей. Если ϵ — плотность энергии, то при $\Lambda = 0$

$$R = 8\pi G \epsilon / 3C^4 .$$

Идентификация по данным астрономии дает $|\Lambda| < 10^{-55}$. Это хорошо согласуется с теорией макроячеек.

Постоянная Больцмана определяет минимальную энтропию в макроячейке: $S(v) > K$.

Литература.

1) В. П. Майков. Расширенная версия классической термодинамики — физика дискретного пространства - времени. М., 1997.

Данные об авторе. Майков Виктор Павлович. e-mail: maikov@com2com.ru

4.8. Реферат доклада С. М. Коротаева "Экспериментальные исследования макроскопической нелокальности контролируемых процессов" (22.05.01г.)

На протяжении ряда лет группой исследователей проводятся эксперименты по обнаружению распространения сигналов со сверхсветовыми скоростями. В частности, это означает возможность в некоторой системе координат зафиксировать событие - причину позже чем событие - следствие. Теория основана на козыревском представлении о времени, как о субстанции, способной передавать сигналы непосредственно между точками пространства. Само значение времени при этом зафиксировано. В девяностые годы такая теория получила название квантовых нелокальных взаимодействий, поскольку сигнал передается из точки в точку, не проходя по промежуточным точкам пространства. При таком взгляде на процесс не возникает противоречий с теорией относительности, рассматривающей непрерывные мировые линии. В опытах ожидается получить реакцию измерительного прибора, соответствующую некоторому событию на измеряемом объекте, раньше, чем произошло это событие. Общая теория предполагает, что причиной необратимости времени является нарушение его симметрии в зонах пространства-времени, где происходит интенсивный рост энтропии. В таких зонах естественно ожидать и возникновения опережающих взаимодействий. Еще в первых лабораторных опытах были получены обнадеживающие результаты, но в недостаточно чистом эксперименте.

В новой серии опытов были использованы датчики, регистрирующие напряжение на электродах, погруженных в электролит, наполняющий изолированную от внешних воздействий камеру. Экранировались все известные поля кроме нейтринных и гравитационных. Кроме того, по ряду полей велась параллельная регистрация в окружающем пространстве. Прибор был снабжен пробным процессом, сигнал от которого использовался для калибровки реакции на рост энтропии. Один из датчиков находился близко от пробного процесса, другой поодаль. Регистрировалась разность показаний. В качестве пробного процесса использовалось кипение воды (нагреватель 1,3 квт). В качестве меры входного сигнала рассматривалась произведенная энтропия, вычисляемая по формуле для двойного слоя

$$\Delta S = |q| \Delta U / 6^{1/2} K T g$$

Реакция на пробный процесс шла без опережения. Характерное запаздывание — около двух часов. Время релаксации — около пяти часов. Уровень пика реакции — около 10 мв. Средняя реакция $2,24 \pm 1,72$ мв. Если длительности реакции τ (ок. 15 час.) и воздействия ν (ок. 40 мин.) то имеется эмпирическая формула

$$\Delta S = \ln((r-\nu)/\nu) ;$$

В основных опытах регистрировалась реакция прибора на солнечную активность. Проводились годовые наблюдения с дискретом 1 сутки. Обнаружены близкие по времени колебания активности солнца и выхода датчика. Длительности полупериодов от 24 суток до 6 месяцев. В тех случаях, когда сигнал датчика опережал солнечную активность, сигнал в среднем был сильнее, чем при нормальной реакции с запаздыванием. Регистрировались опережения на несколько дней.

В 1980 году появилась теория (Дж. Крамер) двух типов причинности. Слабая причинность — действия наблюдателя опережает их следствия. Сильная причинность — все причины опережают свои следствия. По результатам опытов на датчике можно сказать, что слабая причинность наблюдалась, но сильная вызывает большие сомнения.

В обсуждении результатов высказывались сомнения в учете всех воздействий, которые могли подействовать на прибор быстрее, чем на Солнце. Отмечался также квазипериодический характер солнечной активности, способный создать иллюзию обратной причинности.

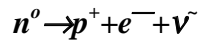
Литература.

1) <http://www.chronos.msu.ru/lab-kaf/Korotaev/korotaev.html>

Данные об авторе. Коротаев Сергей Маратович; e-mail: trofimov@geo.igemi.troitsk.ru

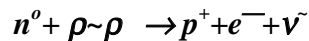
4.9. Реферат доклада И. М. Дмитриевского "О датировке Туринской Плащаницы и Амальгеста Птолемея (новый взгляд на время)" (29.05.01г.)

В природе наблюдается много спонтанных процессов, причину которых современная физика видит в первичной случайности, как свойства природы. Обычно для обоснования такого взгляда привлекается аппарат квантовой механики. Эта точка зрения плоха тем, что многие явления объясняются просто эмпирическими распределениями вероятности, без объяснения, почему в них нарушена симметрия вроде бы равноправных вариантов. К числу таких экспериментов относится *нарушение четности* при бета-распаде.



В этой реакции распада нейтрона вылетают со значительным статистическим перевесом электроны с левым спином. Для выполнения закона сохранения спина в реакцию ввели гипотетическую частицу — нейтрино, с малой массой и малым радиусом взаимодействия. Позднее, она была открыта. Но спонтанное нарушение четности объясняли чисто статистически.

Выдвигается универсальная гипотеза для объяснения таких эмпирических асимметрий. Предполагается, что в реликтовом излучении имеется кроме фотонов еще и особые нейтрино ρ . В силу несимметрии, возникшей при первичном взрыве в зоне сингулярности эти частицы обладают некоторой избыточной левой поляризацией спина. Спонтанные реакции происходят при взаимодействии вещества с этими частицами.



Поляризованные частицы имеют эффективное сечение ψ , превосходящее неполяризованные сечения ϕ на четыре порядка: $\psi/\phi \cong 10^4$ (эффект резонансного поглощения). Поэтому у реликтовых нейтрино значительно чаще происходят взаимодействия с другими частицами, что и объясняет высокую спонтанную активность. Если доля неполяризованных реликтовых нейтрино p , а поляризованных — q , то эффективное сечение Φ излучения статистически равно

$$\Phi = \phi p + \psi q \cong \phi(p + 10^4 q)$$

Поток реликтовых нейтрино фактически влияет на темп всех природных процессов. Возможно, это причина тех изменений тонкой структуры разброса показаний приборов, регистрирующих темп различных реакций, которые обнаружила группа С. Э. Шноля. Если учесть возрастание эффекта за счет поляризации на четыре порядка, то расстояния L между пиками диаграмм Шноля соответствуют колебаниям потока реликтовых нейтрино $10^4 L$. Относительно такого разброса эти пики статистически достоверны. (В обсуждении отмечалось, что по стандартному отклонению для q нельзя оценивать достоверность значения другой случайной величины L .)

Изменением темпа реакций распада изотопов можно объяснить расхождение в возрасте Туринской Плащаницы по данным историков религии (богословов) и физиков. Если распад замедлился на какой-то период времени, то физики получают меньший возраст чем историки, использующие астрономическое время.

Темп распада определяется уравнением, в котором постоянная времени зависит от эффективного радиуса взаимодействия реликтовых нейтрино с учетом флуктуации δ и вероятности поглощения нейтрино ω .

$$dN/dt = -\lambda N; \lambda = \Phi \delta \omega.$$

Попытка объяснить подобным образом погрешности звездного каталога Амальгест Птолемея (1 в. н. э.) столкнулись с определенными трудностями.

В целом, реликтовые нейтрино являются референтом структуры времени, влияя на темп многих процессов, определяющих взаимодействия и передачу информации между физическими объектами.

Литература.

1) И. М. Дмитриевский. Новая фундаментальная роль реликтового излучения в физической картине мира. "Полигнозис", 2000, №1, с38.

5. Заключение

Не смотря на разнообразную тематику докладов семестра, можно выявить два принципиальных подхода: рассмотрение энтропии и информации, как меры вариативности природных процессов или как свойства некоторой субстанции, связанной с ходом времени.

Обе точки зрения представлены несколькими вариантами, иногда несовместимыми друг с другом. Для комбинаторного подхода характерна конструктивность вычислений, но некоторая оторванность от природы самих процессов. Субстанциальные подходы тяготеют к трактовкам конкретных экспериментов, но несколько спекулятивны в обобщениях.

Следует ожидать, что обе позиции будут развиваться во взаимодействии, дополняя друг друга. Результатом может быть появление нескольких понятий энтропии и информации, имеющих разную применимость и объясняющие разные аспекты времени, как явления наблюдаемого мира.